

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1898

N° 265

THÈSE
POUR
LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue le jeudi 31 mars 1898 à 1 heure

Par LUCIEN DESMAROUX

Né à Neschers (Puy-de-Dôme), le 8 décembre 1872.
Ancien externe des Hôpitaux

ÉTUDE CRITIQUE

DES PROCÉDÉS D'ÉPURATION INDUSTRIELLE
Des Eaux d'Alimentation

Président : M. PROUST, professeur.

*Juges : MM. BROUARDEL, professeur.
CHASSEVANT et THOINOT, agrégés.*

Le Candidat répondra aux questions qui lui seront faites sur les diverses parties de l'enseignement médical.

PARIS

HENRI JOUVE

IMPRIMEUR DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE
15, Rue Racine, 15

1898

265

THÈSE

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1898

— THÈSE N° —

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue le jeudi 31 mars 1898 à 1 heure

Par LUCIEN DESMAROUX

Né à Neschers (Puy-de-Dôme), le 8 décembre 1872.
Ancien externe des Hôpitaux

ÉTUDE CRITIQUE

DES PROCÉDÉS D'ÉPURATION INDUSTRIELLE

Des Eaux d'Alimentation

Président : M. PROUST, professeur.

*Juges : MM. BROUARDEL, professeur.
CHASSEVANT et THOINOT, agrégés.*

Le Candidat répondra aux questions qui lui seront faites sur les différentes parties de l'enseignement médical.



PARIS

HENRI JOUVE

IMPRIMEUR DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

15, rue Racine, 15

—
1898

FACULTE DE MÉDECINE DE PARIS

Boycn.	M. BROUARDEL
Professeurs	MM.
Anatomie	FARABEUF.
Physiologie	CH. RICHEL.
Physique médicale.	GARIEL.
Chimie organique et chimie minérale.	GAUTIER.
Histoire naturelle médicale.	BLANCHARD.
Pathologie et thérapeutique générales.	BOUCHARD.
Pathologie médicale.	HUTINEL.
Pathologie chirurgicale.	DEBOVE.
Anatomie pathologique	LANNELONGUE.
Histologie.	CORNIL.
Opérations et appareils.	MATHIAS DUVAL
Matière médicale et pharmacologie.	TERRIER.
Thérapeutique.	POUCHET.
Hygiène.	LANDOUZY
Médecine légale.	PROUST.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	BROUARDEL.
Pathologie expérimentale et comparée.	LABOULBENE
	CHANTEMESSE.
	POTAIN.
Clinique médicale.	JACCOUD.
	HAYEM.
	DIEULAFOY.
	GRANCHER.
Maladie des enfants.	
Clinique de pathologie mentale et des maladies de l'encéphale	JOFFROY.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.	FOURNIER.
Clinique des maladies du système nerveux.	RAYMOND.
	TILLAUX.
Clinique chirurgicale.	BERGER.
	DUPLAY.
	LE DENTU
Clinique des maladies des voies urinaires.	GUYON.
Clinique ophthalmologique.	PANAS.
Clinique d'accouchements.	N.
	PINARD.

Agrégés en exercice.

MM.			
ACHARD	GAUCHER	MARIE	SEBILEAU
ALBARRAN	GILBERT	MENETIER	THIERRY
ANDRE	GILLES DE LA	NELATON	THOINOT
BAR	TOURETTE	NETTER.	TUFFIER
BONNAIRE	GLEU	POIRIER, chef des	VARNIER
BROCA	HARTMANN	travaux anatomi-	WALTHER
CHARRIN	HEIM	ques.	WEISS
CHASSEVANT	LEJARS	RETTETTER	WIDAL
DELBET	LETULLE	RICARD	WURTZ
	MARFAN	ROGER	

Secrétaire de la Faculté: M. Ch. PUPIN.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A LA MEMOIRE DE MON PÈRE

A MA MÈRE

A MES PARENTS

A MES AMIS

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

M. LE PROFESSEUR PROUST

Médecin des hôpitaux
Membre de l'Académie de médecine
Commandeur de la Légion d'honneur

ÉTUDE CRITIQUE

DES PROCÉDÉS D'ÉPURATION INDUSTRIELLE

Des Eaux d'Alimentation

INTRODUCTION

Il serait certainement banal de rappeler ici le rôle important de l'eau d'alimentation dans la propagation et l'extension des maladies épidémiques; les dangers des eaux contaminées sont trop connus pour qu'il soit utile d'insister. On ne discute plus aujourd'hui sur la nécessité de la purification des eaux potables, on ne discute guère que sur les moyens de la réaliser.

Pendant longtemps, la filtration a été considérée comme le seul procédé qui puisse résoudre ce problème; mais depuis ces dernières années, on s'est demandé si l'on ne pourrait pas utiliser pour la purification des eaux de boisson, l'action bactéricide de certains composés chimiques, l'action réductrice de l'ozone, ou mieux, s'il ne serait pas

possible de résoudre les difficultés d'application pratique des appareils basés sur l'emploi de la chaleur, et de mettre ainsi au service de l'hygiène l'action indiscutable des hautes températures sur la disparition des germes contenus dans l'eau.

Grâce aux recherches qui ont été effectuées dans cet ordre d'idées au grand bénéfice de l'hygiène publique, la question de la purification des eaux d'alimentation a été totalement modifiée.

Aussi, il nous a semblé qu'il ne serait pas inutile d'examiner l'état actuel du problème ; d'indiquer les résultats obtenus dans la pratique ; de comparer les différents procédés que l'industrie met à notre disposition et de chercher quel est celui qui répond le mieux aux besoins de l'hygiène au point de vue de la sauvegarde de la santé de la population.

Nous avons dû nous borner dans ce travail, à l'étude des procédés industriels pouvant fournir un volume d'eau suffisant à assurer l'alimentation des agglomérations d'une certaine importance.

A l'exemple de la commission chargée de l'examen des projets présentés au concours de la ville de Paris, nous diviserons les procédés en quatre catégories « selon que
« leurs auteurs ont recours aux agents physiques, cha-
« leur, électricité, ou qu'ils utilisent des actions d'ordre
« mécanique, ou qu'ils mettent en jeu des réactions chi-
« miques, ou qu'enfin ils prévoient l'emploi successif ou
« simultané de moyens d'espèces diverses. »

Nous étudierons successivement les procédés mécaniques, les procédés chimiques, les procédés mixtes et enfin

les procédés physiques d'épuration des eaux d'alimentation.

En commençant ce travail, nous tenons à exprimer nos sentiments de bien sincère gratitude à tous ceux qui furent nos maîtres pendant le cours de nos études médicales.

Qu'il nous soit permis de saluer la mémoire de M. le Dr Hanot, le maître trop tôt disparu dont nous avons eu l'honneur d'être l'externe à l'hôpital Saint-Antoine.

Nous prions M. le professeur agrégé Wurtz, et MM. les Drs Tapret et Lyon de vouloir bien accepter l'assurance de notre respectueuse sympathie et de notre profonde reconnaissance ; nous avons rencontré auprès d'eux pendant nos années d'externat une bienveillance et un enseignement dont nous garderons toujours le souvenir.

Nos premiers maîtres de Clermont nous permettront de leur envoyer l'expression de nos sincères remerciements. Nous ne saurions être trop reconnaissant à M. le Dr Tixier de la bienveillance qu'il a montrée à notre égard.

Nous prions M. le professeur Proust d'agréer l'hommage de notre respectueuse reconnaissance, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant la présidence de notre thèse.

PROCÉDÉS MÉCANIQUES

GALERIES FILTRANTES.

Le procédé le plus ancien de filtration des eaux de rivière a été la création de galeries filtrantes destinées à recueillir les eaux fluviales après filtrage naturel par le banc de sable ménagé entre la tranchée et le lit du fleuve.

On sait depuis les travaux de Belgrand que ce procédé ne réalise que très imparfaitement le but qu'on se proposait ; mais qu'il constitue en réalité un mode de captage des eaux de la nappe souterraine. La preuve en a été fournie par la différence de température et de degré hydrotimétrique de l'eau de la rivière et de la tranchée filtre, et par ce fait que la proportion de matières organiques y suivait une marche sensiblement inverse de la quantité constatée à l'analyse dans les eaux du fleuve ; le minimum de pollution des eaux captées coïncidant avec les périodes de crues où le courant charrie un plus grand nombre d'impuretés.

Belgrand en opérant à Fontainebleau sur l'eau recueillie dans une galerie creusée sur les berges de la Seine a

trouvé une différence sensible dans le degré hydrotimétrique :

Eau de la galerie.	21°20
Eau de la rivière.	16°75

A Nevers et à Blois, l'analyse a fourni les résultats suivants :

A Nevers : Eau d'un puisard creusé près de la	
Loire.	20°70
— Eau du fleuve.	4°36
A Blois : Eau de la galerie.	
— Eau du fleuve.	7°76

Les galeries de Lyon et de Toulouse ont un degré hydrotimétrique à peu près égal à celui des eaux du fleuve ; toutefois, il existe toujours une différence qui suffit à prouver l'intervention des eaux de la nappe souterraine.

Lyon : Eau des galeries.	17° 94
— Eau du Rhône.	16°
Toulouse : Eau des galeries.	15° 92.
— Eau du fleuve.	13° 31.

De même pour la température, il existe une différence de 8° entre la température des eaux du Rhône et celle de l'eau des galeries, de 6° à Toulouse entre les eaux de la Garonne et celles de la tranchée filtrante.

Il est rare que l'eau récoltée par les galeries provienne du fleuve ; ou du moins la quantité ainsi fournie est minime et n'est presque jamais de l'eau filtrée. Les sables

de grève constituent en effet un filtre très imparfait ; leur constitution n'est jamais homogène ; des graviers d'une certaine grosseur se trouvent mélangés à des grains plus petits et par leur rapprochement constituent des séries de « renards » qui drainent l'eau dans les galeries sans leur avoir fait subir aucune filtration.

L'eau fournie par les galeries filtrantes sera donc bonne lorsque la nappe des puits sera pure et que l'eau fluviale ne pourra pas avoir accès dans les tranchées filtrantes, ou du moins quand elle n'y arrivera qu'en faible quantité.

Nous ne pouvons insister ici sur la possibilité de la contamination des nappes souterraines ; on sait que leur niveau variable, est une des causes de leur pollution fréquente, et qu'elles sont facilement infectées lorsqu'elles passent sous des lieux habités, à plus forte raison lorsqu'elles reçoivent des infiltrations de fosses d'aisances. Nous voudrions cependant montrer à l'aide d'expériences récentes que l'eau de la nappe des puits n'offre qu'une sécurité médiocre, abstraction faite des causes locales de contamination que nous venons d'énumérer ; et que les galeries filtrantes reçoivent souvent de l'eau superficielle insuffisamment épurée par son passage à travers le sol.

« Même dans les terrains sableux les plus perméables il
« y a des lignes de plus facile pénétration, des veines où
« l'eau circule plus vite. Dans les terrains fissurés
« comme les terrains calcaires ou volcaniques, il y a des
« failles ou des cassures où l'eau ne fait que passer. De
« sorte que l'eau des profondeurs contient toujours une
« proportion variable d'eaux bien filtrées et d'eaux de

« surface, d'eaux stériles et d'eaux plus ou moins peu-
« plées. »

MM. Abba Orlandi et Rondelli ont entrepris une série d'expériences sur le pouvoir filtrant des terrains dans lesquels sont creusées les galeries filtrantes des eaux potables de Turin. Une certaine étendue du sol situé près des galeries fut submergée, au moyen d'une eauensemencée de *bacillus prodigiosus* qu'on ne rencontre pas normalement dans les eaux de la région. Les échantillons puisés dans les galeries révélaient bientôt la présence de *bacillus prodigiosus*. Dans une expérience cependant, la surface irriguée se trouvait à 200 mètres de distance de la galerie filtrante.

D'autre part, Pfühl a démontré que l'eau de nappe infectée se purifiait très peu par son trajet souterrain. Cet expérimentateur a fait construire dans le voisinage des galeries filtrantes de Strasbourg, deux fosses parallèles situées à 8 mètres de distance dans le sens du courant de la nappe souterraine. Il put constater qu'il suffisait d'un temps relativement court, une heure ou deux au maximum, pour permettre à des microorganismes tels que le *bacillus prodigiosus* ou le vibrion phosphorescent déposés dans la tranchée supérieure, de traverser la couche de terrain interposée entre les deux galeries.

D'autre part, l'eau recueillie dans les tranchées filtres peut être infectée, quand l'eau fluviale insuffisamment filtrée par le banc de sable s'ajoute à l'eau souterraine. C'est ce qu'on observe fréquemment, particulièrement à Toulouse à l'époque des crues de la Garonne.

Tous ces faits nous montrent pourquoi les galeries fil-

trantes ont donné des résultats si différents suivant les villes qui les exploitent.

Ainsi, d'après la statistique de Bechmann, la composition bactériologique de l'eau d'alimentation des principales villes qui ont recours à ce procédé d'épuration serait :

Toulouse.	206 à 7.400 bactéries au c. c.	
Lyon	100	—
Nancy	1650	—
Angers	450	—
Nîmes.	450	—

FILTRES A SABLE

Uncertain nombre de villes en France, mais surtout en Angleterre et en Allemagne, ont adopté l'approvisionnement d'eau par les bassins à sable. Ce procédé de filtration qui fut inauguré à Londres (1829), par J. Simpson, puis appliqué à la ville de Berlin (1853) n'a guère été étudié que dans ces dernières années, et nous ne connaissons essentiellement le fonctionnement de ces appareils que depuis les travaux de Percy-Frankland, de Plagge, de Piefke, de Fraenkel, de Koch, de Duclaux etc.

Ce que nous avons pu en apprendre nous montre jusqu'où peut aller la sécurité qu'ils offrent, lorsqu'ils fonctionnent dans les meilleures conditions, et comment, à la suite du plus petit accident, ils peuvent fournir une eau très dangereuse et devenir la source de graves épidémies.

On sait que, les masses sablonneuses constituent, en réalité, un filtre très défectueux ; l'action moléculaire exercée par les parois lacunaires du sable siliceux est très faible et bien inférieure par exemple au pouvoir absorbant de l'humus, de la marne, de l'argile etc. D'autre part, même dans les couches superficielles, les grains de sable dont les dimensions varient de 1,5 à 2 millimètres, laissent entre eux des espaces qui ne mesurent pas moins de un demi à un quart de millimètre et dont les dimensions sont par conséquent bien plus que suffisantes pour laisser passer des germes dont la longueur totale ne dépasse jamais quelques millièmes de millimètre.

Aussi Piefke a-t-il pu démontrer, dans une expérience restée célèbre, que le chiffre des germes de l'eau qui sort d'un filtre à sable au début de son fonctionnement excède le plus souvent celui de la même eau avant filtration. L'épuration ne devient efficace qu'après la formation à la surface du filtre « d'une couche grisâtre, muqueuse, formée de filaments enchevêtrés, d'algues, de microbes, de diatomées, le tout empâtant les matières sédimentaires minérales et organiques que toute eau emporte d'ordinaire avec elle. » C'est cette membrane « grouillante de vie » qui constitue la partie active, le sable ne joue qu'un rôle secondaire « il sert à la fois de frein pour modérer le mouvement de l'eau et de support pour la couche glaireuse de microbes. »

Lorsque le filtre est « mûr » l'eau qui s'écoule est en grande partie privée des germes vivants qu'elle contenait. C'est ainsi que certains appareils peuvent retenir de 97 0/0 à 99 0/0 des germes de l'eau fluviale et diminuer

par conséquent dans une large mesure les dangers d'infection. Qu'il nous suffise de rappeler que la ville d'Altona fut grâce à ses bassins filtrants bien moins éprouvée que la ville de Hambourg pendant l'épidémie de choléra, alors que l'eau qui approvisionnait ses appareils était contaminée par les égouts de la ville infectée.

Il ne faudrait cependant pas s'exagérer la sécurité que nous offre ce procédé de purification, et demander à ces appareils plus qu'ils peuvent donner.

Il est parfaitement établi que les filtres ne fournissent jamais une eau absolument privée de germes, et Koch regarde comme fonctionnant dans de bonnes conditions un bassin de sable qui ne laisse pas passer plus de 100 bactéries par centimètre cube. La plupart des eaux de sources contiennent souvent une proportion de germes plus considérable. Mais ce n'est pas à la quantité des microbes qu'il faut attacher de l'importance, c'est surtout et avant tout à leurs qualités. Or, Fraenkel et Pfiecke ont démontré, contrairement aux affirmations de Plagge, qu'on retrouvait dans l'eau filtrée les mêmes espèces microbiennes que dans l'eau de filtration, et que dans tout filtre alimenté par de l'eau impure, il se faisait un passage proportionnel de germes pathogènes et de germes indifférents. M. Vaillard, à Paris, est arrivé aux mêmes conclusions en opérant sur de l'eau de Seine. « Ainsi » dit Cornil » sup-
« posons qu'il existe par centimètre cube d'une eau flu-
« viale 30.000 microbes, et qu'ils soient réduits au nom-
« bre de 300 par centimètre cube à la suite de la filtra-
« tion, il est logique de penser, et cela a été vérifié par
« l'expérimentation, que l'on retrouvera dans l'eau filtrée

« les mêmes espèces que dans l'eau du fleuve. Si sur les
« 30.000 microbes de l'eau sale il y avait 1000 microbes
« de la fièvre typhoïde, on retrouvera 30 de ces parasites
« de la fièvre typhoïde dans l'eau filtrée. »

C'est là un danger réel qui existe même dans les meilleures conditions de fonctionnement, et si les filtres à sable réalisent une amélioration dans l'hygiène urbaine, ils sont, de ce fait, impuissants à garantir la parfaite innocuité de l'eau qu'ils fournissent. Les dangers de contamination sont diminués par le filtrage ; ils sont loin d'être supprimés.

Il faut savoir, en outre, que dans un grand nombre de cas la filtration est encore plus infidèle et qu'il se produit souvent dans le fonctionnement de ces appareils des irrégularités qui rendent leur action absolument illusoire.

C'est ainsi qu'il est nécessaire d'enlever souvent la couche de limon déposée à la surface, et dont l'épaisseur sans cesse renforcée par l'apport continu des matières en suspension dans l'eau diminue assez rapidement le rendement de l'appareil. En enlevant cette couche superficielle, on supprime la partie active du filtre à qui on rend son entière perméabilité ; et la filtration sera nulle ou très médiocre jusqu'à ce qu'une nouvelle membrane ait eu le temps de se former et d'acquérir une épaisseur suffisante. « Le décapage », dit Vaillant, « constitue donc un
« risque grave, une irrégularité dans le filtrage qui ter-
« mine l'épuration de l'eau, pendant l'interregne où est le
« filtre? ».

On peut se rendre compte de l'infériorité des appareils que l'on remet en marche, en comparant la composition bactériologique de l'eau fournie avant et après le

nettoyage. Les examens méthodiques qui furent faits à Altona en février 1892, et dont les résultats ont été publiés par Koch, sont à ce point de vue des plus intéressants.

Filtre n° 2 avant nettoyage	(21 fév.)	14 germes p. cmc.		
après	— (23 —)	246	—	—
— N° 5 avant	— (20 —)	24	—	—
après	— (22 —)	158	—	—
	(23 —)	138	—	—
— N° 7 avant	— (10 —)	38	—	—
après	— (12 —)	288	—	—
	(13 —)	214	—	—
	(14 —)	164	—	—
— N° 9 avant	— (15 —)	26	—	—
après	— (17 —)	324	—	—

Le mode de fonctionnement était encore plus défectueux lorsqu'on renouvelait la couche de sable. Kauffmann rapporte qu'après le râclage d'un filtre encrassé qui servait à épurer les eaux fluviales au Caire, l'analyse microbiologique révélait la présence de 90.000 germes dans l'eau filtrée, alors que le Nil n'en contenait que 10.000. Le danger du nettoyage des appareils mérite d'autant plus de fixer l'attention que dans une installation d'une certaine importance il se trouve presque toujours un appareil dont le fonctionnement est défectueux par le fait seul de son récent décapage, et dont l'eau vient souiller celle du réservoir commun.

L'épidémie de fièvre typhoïde qui sévit actuellement sur la ville de Castres a été occasionnée par la mauvaise direction des filtres à sable qui servent à alimenter la

ville, et particulièrement par la manière défectueuse dont se faisaient les nettoyages.

Les bassins filtrants sont des instruments délicats, et on sait avec quel soin il faut ménager la pression à leur surface. Fraenkel et Pfielke ont en effet démontré qu'il existe une relation entre le nombre des bactéries qui traversent le filtre et la hauteur de l'eau au-dessus de la masse filtrante. En étudiant quel avait été le fonctionnement des filtres de Straslau qui épuraient l'eau de la Sprée et alimentaient les quartiers de Berlin spécialement éprouvés par l'épidémie de fièvre typhoïde de 1889, ces expérimentateurs établirent que la recrudescence de l'épidémie était due au travail exagéré imposé aux trois appareils voués par suite de l'arrêt de fonctionnement des huit bassins exposés à la gelée. La vitesse de filtration avait été de 130 à 140 millimètres en février et avait atteint 224 mm. en mars. L'eau livrée à l'alimentation contenait alors de 1000 à 1800 germes par centimètre cube en février, et 4000 en mars. L'épidémie suivit une marche à peu près parallèle et ne s'arrêta qu'en avril lorsque le fonctionnement des appareils redevint régulier.

Il est facile de se rendre compte des désordres occasionnés dans le filtrage par l'augmentation de la pression sur le filtre. La couche semi-liquide de la surface se glisse à travers les pores de la masse filtrante et les microorganismes déposés à la surface peuvent forcer le filtre et arriver jusqu'au réservoir d'eau filtrée.

Les excès de pression peuvent encore amener des perturbations dans la masse filtrante elle-même; M. le Dr Michel a longuement insisté sur ce fait, dans un rapport pré-

senté en 1890 à la société de médecine pratique. Il est impossible d'obtenir un sable dont les grains aient tous exactement la même finesse ; dans une même couche de sable, il se trouve forcément des graviers plus volumineux ou plus denses que ceux qui les entourent. « Ces « graviers sous l'influence d'une pression uniforme et « constante restent en place, et rien ne modifie les rapports des grains entre eux. Mais vienne une différence « de pression ou de vitesse, il se produira par entraînement de véritables canaux, des trajets fistuleux suivant « l'heureuse expression de Gautrelet. » Si l'homogénéité de la masse sablonneuse est ainsi interrompue près de la membrane filtrante, celle-ci privée de son point d'appui se déchire et laisse librement passer les germes accumulés à la surface ; si le « renard » se forme dans les couches profondes, la membrane superficielle peut être respectée, mais la lenteur de la filtration n'étant plus assurée par la cohésion des grains de sable, l'eau s'écoule avec vitesse et entraîne les germes dont la masse filtrante est en quelque sorte saturée.

Enfin, il est d'un grand intérêt d'éviter la pullulation toujours possible de ces germes contenus dans l'épaisseur du filtre. Ces microorganismes ont été apportés par l'eau fluviale, ils peuvent être pathogènes et c'est ainsi qu'on peut s'imaginer un bassin filtrant devenant à un moment donné un foyer d'infection et le point de départ d'une extension de la maladie qu'on prétend éviter en soumettant l'eau à la filtration.

Lorsque l'écoulement de l'eau est très lent, la pullulation des microbes des couches profondes est réduite au

minimum, et Kummel a pu démontrer que dans un bassin fournissant une eau qui ne contenait pas plus de vingt bactéries par centimètre cube, l'analyse bactériologique accusait la présence de 24.800 germes par centimètre cube de substance filtrante dans les couches profondes et de plus de 4.000.000 dans les couches superficielles. Il est probable, que l'arrêt de développement des germes profonds est dû, comme M. Duclaux en a émis l'hypothèse, à ce que l'eau, après avoir traversé la couche microbienne de la surface est devenue impropre à de nouvelles cultures par suite de la pullulation intense qui se produit à ce niveau, et qu'elle ne reprend ses qualités nutritives qu'en arrivant à nouveau au contact de l'air. Mais pour que cette « influence paralysante » ait le temps de se produire, il faut que l'eau reste un temps assez prolongé en contact avec les germes de la surface; si la vitesse de filtration est trop grande, les microorganismes momentanément arrêtés dans leur développement vont se multiplier et tout se passera comme dans l'expérience de Fraenkel, on constatera une véritable filtration à rebours.

Les études suivies qui ont été faites à l'instigation de Koch sur les bassins filtrants ont montré qu'il est, en hiver, des périodes où leur fonctionnement devient à peu près impossible. Pendant les grands froids, les couches de sable peuvent se congeler et devenir imperméables; on est, de ce fait, dans la nécessité d'imposer un excès de travail aux appareils mieux protégés. La filtration se fait alors dans de mauvaises conditions et devient absolument insuffisante. Nous avons déjà parlé de l'épidémie qui sévit à Berlin pendant l'hiver de 1889; citons encore les épidé-

mies de fièvre typhoïde qui se manifestent à Altona après chaque période de gelée.

L'influence du froid peut occasionner des accidents encore plus redoutables; il se produit forcément sous l'action de la gelée des fissures dans la masse sablonneuse, et lorsque le filtre sera de nouveau remis en marche, l'eau s'écoulera sans filtration aucune. De plus, il est probable que la congélation ne se fait pas d'emblée sur toute la surface du sable, ou, qu'après avoir été complète, la décongélation se fait lentement et par places. Les parties respectées par le froid étant seules perméables, la vitesse de filtration doit y être très grande, et le nombre des germes entraînés en quantité souvent considérables.

Les examens des produits de filtration des appareils servant à alimenter Altona pendant l'épidémie de choléra de février 1892, montrèrent que le fonctionnement de certains filtres était des plus défectueux par suite des avaries causées par la gelée.

(Nombre de germes par cc.).

N ^{os} des filtres.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Réservoir commun
8 fév.	50	22	40	24	28	136	146	368	84	152	130
9 —	48	28	»	32	54	191	152	182	64	122	72
10 —	108	50	88	20	28	120	38	110	58	112	126
11 —	68	60	76	78	36	140	»	126	76	204	152
12 —	72	58	240	60	38	110	288	80	70	282	82
13 —	31	30	560	48	28	82	214	186	86	374	104
14 —	40	46	354	24	28	52	164	142	46	364	142

Enfin, la simple congélation de l'eau à la surface nuit au bon fonctionnement des bassins filtrants. Il faut de toute nécessité enlever la glace à mesure de sa formation ce qui a le grave inconvénient d'agiter l'eau et de produire des décollements de la pellicule superficielle. « Cette
« lutte incessante avec la glace, dit Koch, est d'autant
« plus difficile que la surface du filtre est plus étendue.
« Les grandes dimensions des filtres de Berlin offrent
« des difficultés presque insurmontables ; les examens
« bactériologiques de 1885 à 1891 montrent que presque
« chaque hiver il y avait une période pendant laquelle la
« filtration était insuffisante ».

Pendant la saison chaude, ce sont d'autres inconvénients qui sont à redouter ; les algues microscopiques se déposent en très grand nombre à la surface du sable, spécialement dans les bassins découverts, et l'on est rapidement obligé d'augmenter la pression. Cet accident est d'autant plus à craindre que l'eau des rivières est à cette période de l'année très riche en bactéries et que les besoins de l'hygiène nécessitent pendant cette saison une quantité d'eau souvent considérable. A Zurich, le débit des bassins découverts est de 14 0/0 inférieur à celui des bassins couverts, par le fait de l'obstruction rapide qui s'y produit.

Enfin, pendant l'été les bassins à sable fournissent une eau qui a souvent une température de 20 à 28°, c'est donc à peine une eau potable ; il lui manque cette qualité de première importance, la fraîcheur.

La filtration reste donc un procédé assez médiocre d'é-

puration des eaux d'alimentation ; on est à la merci d'une couche microbienne ! de la surveillance plus ou moins attentive des agents préposés au fonctionnement.

On peut avoir des mécomptes même lorsque la surveillance des appareils est confiée aux ingénieurs les plus expérimentés, et que les prescriptions formulées par Koch sont scrupuleusement observées. S'il est facile, en effet, d'obtenir, au moyen de régulateurs, la vitesse d'écoulement de 100 millimètres recommandée par l'office sanitaire de Berlin, comment s'assurer dans des bassins qui mesurent souvent 5.000 mètres carrés, que chaque mètre superficiel travaille en réalité avec la vitesse recommandée ? comment reconnaître si le débit n'est pas de 200, 300 millimètres en un point, tandis qu'il n'est que de 20 ou 50 en d'autres points de la masse sablonneuse ?

Un second moyen de contrôle indiqué par Koch consiste dans l'examen bactériologique de l'eau de filtration. Cette étude doit porter sur chaque bassin, le mauvais fonctionnement de l'un d'eux pouvant être masqué dans le réservoir commun par le bon fonctionnement des autres appareils. Mais, les résultats de l'analyse, qui ne donnent encore dans ce cas qu'une moyenne, ne sont connus que un ou deux jours après la prise de l'échantillon ; l'eau reconnue mauvaise a été livrée à la consommation depuis 48 heures lorsqu'on s'aperçoit du mauvais fonctionnement de l'appareil.

Puits filtrant Lefort.

Les expériences qui furent faites par la ville de Nantes sur le puits filtrant de M. l'ingénieur Lefort remontent à une dizaine d'années, les résultats en furent assez satisfaisants, et M. Gautrelet a présenté à la Société de médecine pratique, un rapport très favorable au projet. Voici du reste les résultats de l'examen chimique et de l'examen bactériologique de l'eau fournie par le puits de sable au cours des essais.

	Eau de la Loire	après filtration
Résidu de filtration par litre	0.012.	0.00.

Dosage des matières organiques par le permanganate de potasse :

1° Equivalent par litre en acide oxalique	0.0279	0.0088.
2° Quantité d'oxygène nécessaire à la combustion	0.00346.	0.00011.

(Analyse faite par l'école des ponts-et-chaussées).

Eau de la Loire.	9.530	bactéries par centimètre cube.
Eau du puits de sable	73	—

*(Analyse faite au laboratoire de Montsouris
par M. Miquel).*

Il semble donc que le procédé de M. Lefort ait une action réelle sur la teneur des eaux de rivières en bactéries et en matières organiques et il aurait été intéressant

de savoir si ces résultats se seraient maintenus et auraient été confirmés dans la pratique. Malheureusement, le puits d'essai construit par les soins de la municipalité Nantaise a été abandonné après quelques mois d'expériences ; le procédé n'a jamais, croyons-nous, été utilisé en grand, et il serait difficile de se prononcer en toute connaissance de cause.

Le puits Lefort se présente comme un filtre à sable vertical. Cette disposition a l'avantage d'offrir une grande surface de filtration ; de plus, en raison de sa situation au milieu du fleuve, le puits Lefort n'a pas les graves inconvénients des galeries filtrantes, l'eau recueillie est bien l'eau fluviale, et non une eau d'infiltration venue des nappes souterraines.

Mais, il y a lieu de se demander, si dans un appareil à parois verticales, l'épuration de l'eau peut se faire dans des conditions aussi favorables que dans les bassins de sable. La couche limoneuse superficielle dont le rôle est capital dans le mécanisme des filtres à sable, pourra-t-elle se déposer à la surface de la masse filtrante, sans cesse balayée par le courant du fleuve ? C'est du reste sur cette action du courant que l'on compte pour éviter l'encrassement du filtre.

Il faudrait étudier encore la vitesse de filtration aux différents étages de l'appareil et examiner la valeur du système dit « barbacanes » au point de vue de sa régularisation, « on ne voit, on ne règle » dit M. Cornil « aucune des conditions de la filtration on apprécie seulement la qualité de l'eau filtrée ».

Le débit de l'appareil s'est maintenu à peu près cons-

tant pendant la durée des expériences ; il est probable cependant, que les molécules vaseuses doivent s'engager dans les pores du sable et amener une obstruction plus ou moins rapide de la masse filtrante.

Enfin, ce procédé de filtration n'est applicable qu'à un petit nombre de villes, par suite de la nécessité de placer ces appareils dans la partie profonde des fleuves ; dans bien des cas, du reste, leur installation serait une cause de gêne et de danger pour la navigation.

Filtres Fischer.

Les filtres en pierre artificielle du système Fischer ont été expérimentés dans la distribution d'eau de Worms et de Kiel. Les éléments filtrants sont constitués par des plaques de 1 mètre carré de surface et de 18 à 20 centimètres d'épaisseur, renfermant à leur centre une cavité de 2 centimètres qui sert à recueillir l'eau filtrée. Fischer a employé pour la construction de ses appareils un sable très fin, agglutiné au moyen d'un silicat et cuit à une température de 1200°. Ces éléments sont plongés verticalement dans l'eau à filtrer ; il résulte de cette disposition que l'installation occupe beaucoup moins d'espace que les bassins à sable ordinaires. Le nettoyage et la surveillance en sont faciles, chaque élément pouvant être visité ou remplacé sans interrompre le fonctionnement de l'ensemble des appareils.

Les filtres de Worms n'ont, au point de vue de l'épuration de l'eau, aucune supériorité sur les filtres ordinaires. D'après le rapport de M. Bessel Hagen, l'eau filtrée

contient toujours une faible proportion de germes. S'ils présentent l'avantage de s'encrasser moins rapidement par suite de la verticalité des parois, de pouvoir se nettoyer par un simple renversement du courant d'eau, et d'être stérilisables par la vapeur ; il est à craindre qu'il puisse s'y produire facilement des accidents, des fissures qui permettent le passage de l'eau sans lui avoir fait subir aucune filtration.

« Ces filtres », dit M. Arnould, « ne sont ni plus mauvais, ni meilleurs que les filtres à sable : ceux-ci ne stérilisent pas l'eau. Ceux-là non plus ».

ÉPURATION PAR LE SOL

L'épuration des eaux d'alimentation par le sol a été proposée, il y a quelques années, par M. Trélat, et dernièrement par M. Vaillant, au concours ouvert par la ville de Paris pour la purification des eaux fluviales.

Ce procédé qui a donné d'excellents résultats pour l'épuration des eaux d'égouts, met en jeu les actions naturelles du sol et le rôle important des germes qu'il contient sur la transformation des substances organiques en produits ammoniacaux et nitriques qui sont ensuite utilisés par la végétation.

Cette méthode diffère essentiellement de la filtration, l'action mécanique du sol, les phénomènes de porosité et d'attraction moléculaire ne constituent qu'un premier temps qui prépare et rend possible l'oxydation des matières

organiques. Suivant l'expression de Trélat « l'eau qui « pleure au fond d'un sol d'épuration est absolument « brûlée, tous les matériaux instables et dangereux de l'eau « ayant été oxydés et retenus ».

Pour que l'épuration puisse être complète, il est nécessaire que l'épandage se fasse par petites quantités, pour permettre à de courts intervalles l'arrivée de l'air dans le sol et rendre possible le développement des micro-organismes aérobies, agents actifs de l'oxydation des matières organiques. On conçoit donc que pour obtenir un rendement suffisant à assurer l'alimentation d'une ville, il faudrait pouvoir disposer de surfaces très étendues non cultivées, ce qui occasionnerait des dépenses considérables et serait une gêne continuelle pour les entreprises agricoles. Il faut songer aussi que pendant les périodes de froid, l'épuration serait moins active par suite de la diminution de vitalité des germes nitrificateurs, et qu'elle pourrait même devenir impossible par le fait de l'imperméabilité du terrain ou de la formation de glace à la surface du sol.

Cette conception, qui copie en réalité la nature, paraît impraticable et n'a qu'un intérêt purement scientifique; le projet présenté par M. Vaillant au concours de la ville de Paris n'a été l'objet d'aucune expérience.

PROCÉDÉS CHIMIQUES.

Les procédés chimiques d'épuration des eaux potables n'ont été jusqu'ici l'objet d'aucune application pratique ; aussi, nous nous bornerons à résumer brièvement les principales méthodes qui ont été préconisées.

Un premier procédé consiste à mélanger à l'eau souillée un composé chimique qui forme en se combinant avec la matière organique ou les sels de l'eau, un précipité gélatineux qui emprisonne comme dans un filet à mailles très serrées les corpuscules et les germes en suspension. Il suffit alors de laisser déposer le précipité formé et de décanner ou de filtrer grossièrement le liquide qui a été ainsi dépouillé d'une partie de ses impuretés. Bien qu'on fasse intervenir l'action d'un agent chimique, c'est en réalité une épuration mécanique qui se produit ; c'est, dit le docteur L. de Santi, « une sorte d'auto-filtration qu'on réalise ainsi ». Les bactéries ne sont pas tuées, mais simplement entraînées par un mécanisme analogue à celui qui se passe dans le collage des vins.

Dans ce groupe nous pouvons ranger l'*alun*, dont l'usage a été préconisé par Babès.

D'après les expériences de Max Teich, les résultats

sont loin d'être satisfaisants : ce procédé ne donne qu'une diminution passagère des germes ; une nouvelle multiplication ne tarde pas à se produire au sein du liquide. Les bacilles typhiques entr'autres ne souffrent pas du traitement par l'alun. D'autre part, Burlureaux a montré expérimentalement l'insuffisance de cette méthode.

L'épuration de l'eau de boisson au moyen du *fer métallique* ou des sels de fer se fait par un mécanisme analogue. Ce procédé offre les mêmes inconvénients que l'alunage.

La « magnésie gélatineuse ozonisée » préconisée par Oppermann ne donne pas de meilleurs résultats.

On peut faire le même reproche au procédé de M. Burlureaux qui utilise « l'influence que pourraient avoir sur « les microorganismes de l'eau les multiples réactions chimiques qui s'opèrent lorsqu'on élimine de l'eau les sels « de chaux par les procédés chimiques ». Les réactions qui se produisent sous l'influence de « l'anticalcaire » de M. Burlureaux sont complexes, mais au point de vue de leur action sur les microorganismes, ceux-ci sont dans la majorité des cas simplement « impressionnés », et il se fait ultérieurement une multiplication des germes momentanément arrêtés dans leur développement.

Citons enfin le procédé d'épuration des eaux d'alimentation au moyen de la *chaux* (méthode de Clark). Il se forme un précipité de carbonate neutre de chaux qui entraîne les matières en suspension et les microbes. Malheureusement l'eau après ce traitement est à peu près impotable.

A côté de ces premières méthodes qui agissent par une

simple précipitation d'ordre physique et n'ont aucune action sur la vitalité des germes (à l'exception peut-être de la poudre anticalcaire de M. Burlureaux), se groupent un certain nombre de procédés qui font intervenir l'usage de composés chimiques doués d'une action parasiticide. Ce sont des procédés de laboratoire qu'il serait dangereux d'abandonner aux mains du grand public.

Cette méthode comporte en effet un certain nombre de manipulations délicates : d'une part les substances et les doses employées doivent être assez énergiques pour assurer une stérilisation aussi parfaite que possible ; et d'autre part, comme l'eau ainsi traitée ne pourrait être bue impunément, il faut avoir recours à l'addition d'autres composés chimiques qui neutralisent l'agent antiseptique ajouté.

Le procédé le plus ancien est basé sur l'oxydation des matières organiques par le *permanganate de potasse* ou le permanganate de soude. Cette méthode est une application du procédé de dosage des matières organiques ;

Pour rendre l'eau potable, il faut de toute nécessité éliminer le sel en excès ; on obtient ce résultat en additionnant l'eau soit avec du charbon, soit avec du cognac, du vin, etc..

D'après Mlle Schipiloff il suffirait de 5 ou 6 centigr. de permanganate alcalin par litre pour obtenir une eau absolument stérile. Mais il résulte des expériences de Coreil que même employée à la dose de 10 ou 20 centigrammes par litre d'eau le permanganate ne détruit pas sûrement les germes de l'eau et en diminue seulement le

nombre. Le liquide possède du reste un mauvais goût très désagréable.

Le permanganate de potasse est aussi l'agent actif du procédé de M. Lapeyrère qui a été l'objet d'un rapport de M. Laveran à l'Académie de médecine (déc. 1897).

MM. Bordas et Girard ont préconisé l'emploi du *permanganate de chaux*. Ce sel posséderait des propriétés réductrices énergiques et évite la présence dans l'eau après traitement des composés solubles de soude ou de potasse.

Traube a proposé la stérilisation par le *chlorure de chaux*. Lode a soumis ce procédé au contrôle du laboratoire; il conclut de ses recherches que les doses indiquées sont insuffisantes à assurer la stérilisation de l'eau. Le bactérium coli n'est pas détruit au bout de deux heures. « C'est pourquoi, avec Lode » dit M. Arnould « nous croyons pouvoir ranger la méthode de Traube « parmi les expédients auxquels les hygiénistes n'auront « recours qu'avec répugnance.

L'Iode à la dose de 1/80.000^e à 1/100.000^e a été préconisé pour la purification des eaux d'alimentation. L'iode en excès est éliminé au moyen d'hyposulfite de soude. La destruction des germes n'est pas complète aux doses indiquées, de plus le procédé a l'inconvénient de laisser une certaine quantité d'iodure de sodium dans l'eau traitée.

Le médecin-major allemand Schumburg a proposé dernièrement l'emploi d'une solution aqueuse de *brome* dont l'action bactéricide serait assez rapide (5 minutes). Au moyen de 0cc.³ 2 d'une solution composée de

(eau 100, brome 20, bromure de potassium 20) l'auteur est parvenu à stériliser un litre d'eau de la Sprée. Il suffit ensuite d'ajouter un volume égal d'une solution à 30/0 d'ammoniaque pour neutraliser l'excès de brome; il se forme du bromure d'ammonium et de l'hypobromite d'ammonium, il est donc à craindre que l'eau traitée ne soit pas absolument inoffensive.

En résumé, on ne trouve dans cette catégorie aucune méthode qui puisse satisfaire aux exigences de l'alimentation publique. C'est du reste la conclusion, en ce qui concerne ces procédés, du rapport présenté par M. Martin au nom de la commission chargée de juger le concours de la ville de Paris pour l'épuration ou la stérilisation des eaux de rivières : « Il y a même lieu de douter » dit M. Bienvenüe « que l'emploi exclusif des procédés dont il s'agit puisse produire à cet égard des résultats suffisamment certains. Leur débit est en général faible, et si l'on veut qu'ils répondent au but déclaré, leur nettoyage doit être assez fréquent et la composition chimique surveillée avec la plus grande attention ».

Pour ce qui concerne les résultats ayant trait à l'examen bactériologique, « M. le docteur Miquel a dû reconnaître que deux d'entre eux enrichissaient les eaux de la Seine en bactéries au lieu de les purifier, qu'un autre en modifiait très peu la composition microbienne; un quatrième plus efficace au début, présentait une augmentation de bactéries au fur et à mesure de son fonctionnement. Le seul qui ait donné des résultats

« dignes d'attirer l'attention constituait plutôt un appareil de laboratoire ».

Enfin, M. A. Lévy met en garde contre les dangers de cette méthode : « L'étude des procédés chimiques, et la même restriction doit être faite pour les procédés mixtes, est assez délicate, car l'on peut toujours craindre que la substance employée ne passe en partie avec l'eau et n'introduise dans le liquide des composés dont la présence est fâcheuse ».

PROCÉDÉS MIXTES

Sous cette désignation, on peut ranger un certain nombre de procédés qui sont une combinaison de ceux que nous avons étudiés dans les deux groupes précédents ; la filtration étant combinée avec l'usage préalable d'un réactif chimique.

Procédé Anderson.

La méthode la plus répandue est celle de l'ingénieur Anglais Anderson qui est aujourd'hui exploitée à Anvers, à Ostende, à Libourne, et à Paris aux usines de Choisy, de Nogent et de Neuilly-sur-Marne.

L'eau impure est d'abord amenée dans des cylindres tournants ou revolvers, dans lesquels elle se trouve brassée avec du fer métallique ; un courant d'air sans cesse renouvelé au moyen de ventilateurs vient apporter l'oxygène et l'acide carbonique nécessaires aux transformations chimiques. Les réactions qui se passent sont encore mal connues ; d'après Vallin, « certains sels de fer en « abandonnant leur oxygène favorisent sans doute la ré-

« duction des matières organiques ; les autres se combi-
« nent avec les acides organiques sous forme de masses
« gélatineuses qui englobent et précipitent les matières
« en suspension, et en particulier les microbes à la façon
« d'un véritable collage ».

A sa sortie des revolvers, l'eau circule à ciel ouvert dans une série de longs couloirs mupis de chicanes se divisée en cascades et se rend enfin dans des bassins de précipitation. Ce dispositif a pour but de prolonger l'action de l'air et de compléter l'oxydation des sels ferreux.

Une partie des matières organiques précipitées se dépose dans des bassins de décantation, et l'eau est enfin filtrée par des bassins à sable. La purification préalable de l'eau souillée permet une filtration assez rapide ; le rendement des filtres est en moyenne de 4 mètres cubes par mètre carré superficiel ; c'est-à-dire quatre fois le débit d'un bassin à sable ordinaire.

Les études suivies qui ont été faites sur ces appareils par MM. A. Lévy et Miquel semblent montrer que les bénéfices que l'on retire de l'action préalable du fer sur l'eau à épurer sont en réalité bien médiocres, et que ce procédé ne réalise pas une amélioration très sensible sur les bassins filtrants de Londres, de Berlin, de Hambourg. On admet que la réaction chimique qui précède la filtration a pour effet de précipiter la matière organique sous forme d'une masse gélatineuse insoluble qui englobe les microorganismes. Si cette hypothèse se vérifiait, on ne devrait plus trouver dans l'eau traitée que des quantités négligeables de composés organiques, ceux-ci ayant été dans ce cas presque totalement précipités dans les bas-

sins de décantations ou retenus à la surface du filtre. En réalité, l'eau conserve après filtration les 2/3 de sa matière organique; tout le bénéfice de cette réduction ne doit du reste pas être attribué à l'action chimique du fer; car nous savons qu'il se produit, sous l'influence de l'activité microbienne, une véritable destruction de substances organiques dans l'épaisseur de la masse filtrante.

M. A. Levy donne les chiffres suivants indiquant la réduction moyenne des matières organiques pendant l'année 1896 aux différents appareils utilisés par la ville de Paris :

Seine à Choisy 22 0/0

Marne à Neuilly 18 0/0

Marne à Nogent 22 0/0

Il est à remarquer que le procédé est loin de se perfectionner à ce point de vue, c'est ainsi qu'à l'usine de Boulogne où furent effectués les premiers essais, la réduction avait été de :

27 0/0 en 1893

34 0/0 en 1894

29 0/0 en 1895

Les analyses bactériologiques fournissent d'autre part des résultats qui sont loin de nous rassurer sur l'innocuité de l'eau qui sort de ces appareils. Voici, quelle fut d'après l'annuaire de Montsouris, la composition bactériologique moyenne des eaux filtrées dans les usines de la Compagnie des eaux pendant 1896,

Seine à Choisy :

Moyenne avant filtration 47.910 bactéries par cent. cube.

— après filtration 1.405 — —

Marne à Neuilly :

Moyenne avant filtration 55.360 bactéries par cent. cube.

— après filtration 3.100 — —

Marne à Nogent :

Moyenne avant filtration 57.690 bactéries par cent. cube.

— après filtration 2.200 — —

Nous sommes loin du chiffre de 100 bactéries par centimètres cubes que Koch regarde comme un chiffre maximum qui ne doit jamais être dépassé.

Aussi M. Miquel après avoir exposé le résultat de ses analyses conclut : « il faut espérer que, en perfectionnant encore le procédé Anderson on parviendra à obtenir des eaux aussi peu chargées en microbes que celles que fournit la simple filtration à travers le sable, dans diverses villes d'Europe et même à l'usine de Saint-Maur ».

En 1897, le fonctionnement des appareils fut encore très défectueux spécialement pendant les premiers mois. La composition bactériologique de l'eau fournie par les différentes usines fut, d'après les analyses de M. Miquel :

(Nombre de germes au centim. cube)

	Choisy		Neuilly		Nogent
Janvier 1 ^{re} quinz.	1.300	(1 ^{re} sem.)	2.900	(2 ^e sem.)	1.800 1.300
— 2 ^e quinz.	1.100	—	2.000	—	9.100 3.100
Février 1 ^{re} quinz.	2.100	—	6.400	—	3.300 25.350
— 2 ^e quinz.	2.500	—	1.300	—	3.200 1.900
Mars 1 ^{re} quinz.	700	—	800	—	4.600 900
— 2 ^e quinz.	4.600	—	900	—	2.700 2.400
Avril 1 ^{re} quinz.	10.500	—	400	—	1.600 400
— 2 ^e quinz.	800	—	1.100	—	200 900

Le procédé de M. Maignen consiste dans la filtration de l'eau sur tissu d'amiante précédée d'une action chimique préalable, obtenue avec le « carbo calcis ». L'inventeur désigne sous ce nom un mélange de charbon et d'anticalcaire analogue à celui qui a été préconisé par M. Burlureau. Ce que nous avons dit sur l'action épurative de l'anticalcaire nous dispense d'insister sur les réactions qui peuvent se produire. L'appareil Maignen a une action très favorable sur les qualités physiques de l'eau le traversant ; les impuretés et les matières colorantes sont fixées par le charbon et le tissu d'amiante. La composition chimique de l'eau fournie est en général satisfaisante, l'appareil retient environ 50/0 des matières organiques. Malheureusement, son influence sur la composition bactériologique de l'eau est loin d'être aussi favorable ; le filtre Maignen n'arrête qu'une proportion assez faible des bactéries en suspension ; après quelque temps d'usage les résultats sont franchement mauvais, car il devient un milieu de culture pour les germes de l'eau,

On a préconisé l'emploi du sulfate d'alumine suivi de la filtration de l'eau sur des bassins à sable ; ce procédé n'a donné aucun résultat, l'épuration de l'eau est insuffisante.

On peut faire le même reproche au procédé qui consiste à filtrer l'eau sur un dégrossisseur formé de deux couches de quartz entre lesquels est interposée une couche d'oxyde de fer magnétique ou polarite. Cette méthode réalisée dans l'appareil Howaston a reçu quelques applications en Angleterre pour la purification des eaux d'e-gouts.

PROCÉDÉS PHYSIQUES

STÉRILISATION DES EAUX D'ALIMENTATION PAR L'OZONE.

L'ozone possède des propriétés oxydantes énergiques qui en font un agent microbicide très puissant. Les premiers essais d'application de l'ozone à la stérilisation des eaux de boisson furent faits par Ohmüller en 1893 ; il résulte de ces premières expériences que l'ozone a une action destructive assurée sur les germes contenus dans l'air humide ou sur les microorganismes en suspension dans l'eau.

Toutefois, Ohmüller fait remarquer que la présence d'une trop grande quantité de matières organiques nuit à la parfaite stérilisation ; l'ozone épuisant son action à les réduire. Une eau d'égout diluée titrant 67,8 milligrammes de permanganate par litre n'était débarrassée que de 70,8 0/0 des bacilles typhiques qu'on y avait introduits ; malgré l'action prolongée pendant dix minutes d'air ozonisé contenant 35,8 milligrammes d'agent réducteur.

Ces essais ont été repris il y a quelques années avec des appareils nouveaux par la compagnie générale pour

la fabrication de l'ozone fondée en Hollande par Tindall. Les expériences faites à l'usine d'Oudshoorn près de Leyden ont été suivies par M. le docteur Ermengen, directeur du laboratoire d'hygiène de la faculté de Gand, et une partie des résultats ont été publiés par ses soins dans les *Annales de l'Institut Pasteur de 1895*. C'est à cet intéressant travail de M. Ermengen que nous avons emprunté parfois textuellement la plupart des renseignements qui vont suivre.

L'eau qui servit aux essais provient du Vieux Rhin ; elle est souillée par des matières organiques et inorganiques de toutes espèces, et garde encore après filtration la teinte jaune paille caractéristique des eaux tourbeuses. Le nombre des germes contenus dans les eaux du Vieux Rhin varie de 5.000 à 10.000 au cc.

Cette eau grossièrement filtrée fut soumise à l'action réductrice de l'ozone.

M. Van Ermengen conclut de ses expériences que les appareils d'Oudshoorn sont capables d'obtenir une stérilisation complète d'une eau telle que celle du Vieux Rhin.

D'autre part, on fit passer de l'air ozonisé à travers de l'eau contenant par centimètre cube près de huit millions de colonies de *bacterium coli*, « plus résistant que tous les microbes pathogènes non sporulés connus jusqu'ici, » et titrant 0,027 de permanganate. Après l'action prolongée pendant dix minutes d'air ozonisé contenant 3,34 milligrammes d'ozone par litre. Aucun des échantillons prélevés n'a fourni une seule colonie de *bacterium coli*.

Il résulte également de ces expériences que l'ozone a une action très efficace sur la composition chimique de

l'eau traitée. La teneur en matières organiques est fortement diminuée, la réduction est souvent de 50 à 60 0/0. L'ozone aurait une action très énergique sur la destruction des toxines microbiennes. Une solution de toxine tétanique, à 1 pour 50 tuant à coup sur une souris à la dose de 1/2 centimètre cube fut soumise pendant dix minutes à l'action réductrice de l'ozone ; on put ensuite injecter à une souris sans la tuer un et même deux centimètres cubes de cette solution.

Enfin, les caractères organoleptiques de l'eau seraient sensiblement améliorés.

Les expérimentateurs se sont assurés que l'ozonisation n'introduisait dans l'eau que des quantités négligeables de composés étrangers. Les analyses chimiques n'ont pas permis de reconnaître des quantités pondérables de composés nitreux ; toutefois, il est nécessaire pour empêcher les combinaisons entre l'azote et l'ozone d'éviter la formation d'étincelles de n'opérer que sur de l'air parfaitement sec. L'eau ne contiendrait après épuration ni antozone, ni peroxyde d'hydrogène, ni eau oxygénée ; elle n'aurait ni le goût ni l'odeur de l'ozone dont on ne trouve que des traces infinitésimales.

M. V. Ermengen conclut de ces expériences :

« 1° L'ozonisation des eaux de rivières souillées par d'abondantes matières organiques d'origine végétale et colorées par des matières humiques donne des résultats extrêmement satisfaisants au point de vue de l'amélioration de leurs caractères physiques.

2° L'action épuratrice de l'ozone qui se traduit par des modifications chimiques diverses, mais surtout par une

réduction notable des substances réduisant le permanganate en solution acide est considérable sur les toxines et les produits divers de la vie microbienne.

Une eau souillée par des infiltrations de fosses d'aisances et par des produits de putréfaction peut être rendue inoffensive par une ozonisation convenable.

3° Les eaux ouvertes, même lorsqu'elles contiennent des microbes nombreux et des espèces très résistantes sont sûrement stérilisées à condition que leur titre en permanganate ne dépasse pas certaines limites.

4° Il n'est pas douteux qu'on puisse obtenir au moyen du système employé à l'usine d'Oudshoorn des volumes considérables d'eau parfaitement stérilisée.

Nos observations nous permettent d'affirmer que la stérilisation est assurée d'une manière régulière et constante pendant une période de temps illimitée ».

Nous ne pouvons nous arrêter sur la description des appareils ozonisateurs employés dans ces expériences ; l'application industrielle de l'ozone est encore à l'étude, et aucun type définitif n'a été, croyons-nous, produit jusqu'à ce jour ; les inventeurs rencontrent dans la pratique des difficultés presque insurmontables.

Les appareils de l'usine d'Oudshoorn réaliseraient une grande supériorité sur ceux de Froelich, de Siemens et Haske qui n'assuraient pas la formation des décharges obscures, les seules qui produisent de l'ozone en quantité suffisante. Grâce aux régulateurs adaptés par M. Schneller aux appareils d'Oudshoorn, la quantité d'ozone fournie est de 3 à 9 milligrammes par seconde et par cheval vapeur, ce qui est encore un rendement assez faible. L'air

ozonisé refroidi entre chaque opération vient barboter dans des réservoirs contenant l'eau à épurer, où se rend dans de vastes chambres dans lesquelles on pulvérise l'eau souillée.

Il est difficile de se faire une opinion sur la valeur du procédé de stérilisation que nous venons de décrire ; bien que les expériences que nous avons résumées aient été faites depuis trois années, ce système n'a encore reçu aucune application, et toutes les difficultés que l'on rencontre dans la pratique sont loin d'être complètement résolues. Aucun appareil fondé sur ce principe n'a été présenté au concours de la ville de Paris.

Il résulte du rapport de M. Ermengen qu'on peut espérer obtenir par l'application de l'ozone une stérilisation absolue des eaux les plus souillées. Cette méthode mérite donc d'attirer l'attention car elle rentre dans la catégorie des procédés les plus favorables, et répond à cette condition qui pour nous est le point dominant de la question : assurer l'innocuité parfaite et certaine de l'eau livrée à l'alimentation.

Malheureusement, l'application de l'ozone à la purification des eaux d'alimentations comporte des installations coûteuses, (bassins à sable, machines à vapeur puissantes, dynamos, pompes servant à refouler l'air et à refouler l'eau, vastes réservoirs en grès, appareils pour la production de l'ozone, machines frigorifiques etc...) Le fonctionnement de ces appareils nécessitera des dépenses journalières considérables, et leur surveillance devra être confiée à des ingénieurs spéciaux et à des mécaniciens expérimentés. Il semble donc, si les premiers succès ob-

tenus sont confirmés par de nouvelles expériences, que ce procédé ne pourra être utilisé que par les grands centres qui ont besoin pour leur alimentation d'un volume d'eau considérable, et dont le budget peut supporter les frais d'installation et d'entretien des appareils ozonisateurs.

Enfin, bien que les analyses du savant professeur de Gand semblent démontrer que l'ozonisation n'introduit dans l'eau aucun composé toxique (composés nitreux, antozone, peroxyde d'hydrogène) ou du moins que ces corps n'existent qu'en quantité impondérable, il serait à souhaiter que ces résultats fussent contrôlés par de nouvelles expériences. Il faudrait chercher encore, si l'eau purifiée ne pourrait pas se charger de produits dangereux par son passage dans les canalisations. Nous savons, en effet, que les conduites sont attaquées très énergiquement par l'eau contenant de l'ozone ou de l'eau oxygénée. C'est là un écueil que l'on a rencontré spécialement en Angleterre dans l'application de l'ozone à la purification des eaux d'égouts.

STÉRILISATION DES EAUX PAR LA CHALEUR

Il nous reste à étudier un dernier procédé, qui au point de vue de la destruction des germes a donné des résultats toujours sûrs, toujours constants, nous voulons parler de la stérilisation par la chaleur.

Cette méthode qui pendant longtemps a paru inapplicable à la purification en grand des eaux d'alimentation, par suite du prix coûteux et de la complication des appareils employés, par suite de leur faible débit et de la quantité de combustible nécessaire à leur fonctionnement, a reçu, depuis ces dernières années, surtout en France, des perfectionnements qui en font un procédé capable de se prêter à des applications réellement économiques.

Les constructeurs, encouragés dans leurs recherches par l'intérêt apporté à leurs travaux par des hygiénistes éminents parmi lesquels nous devons citer M. le professeur Brouardel, M. le professeur Pouchet, M. le professeur Vaillard, M. Martin, etc., ont cherché dans cet ordre d'idées la solution de cet important problème de la stérilisation des eaux. Grâce à l'expérience acquise par les premiers essais, ils sont parvenus à mettre à notre

disposition un procédé de prophylaxie des plus perfectionnés et des plus aisés à appliquer.

Nous n'insisterons pas sur les expériences bien connues de MM. Miquel et Wada qui ont mis en lumière l'action des diverses températures sur la diminution des bactéries contenues dans les eaux. On sait qu'en élevant brusquement à des températures de 50°, à 100° de l'eau de l'Ourcq contenant 460 800 bactéries par centimètre cube, M. Wada a obtenu les résultats suivants :

14°	460 800 bactér. par centim. cube.	
50° pendant 10 minutes	600	—
60° —	60	—
70° —	88,8	—
80° —	62,4	—
90° —	26,4	—
100° —	0,5	—
100° pendant 20 minutes	0,0	—

Il résulte de ces expériences qu'un chauffage de 10 à 20 minutes à la température de 100°, débarrasse l'eau de presque tous les germes qu'elle contenait.

Un premier procédé pour obtenir de l'eau inoffensive consiste donc à la faire bouillir pendant un quart d'heure ou 20 minutes. C'est là un moyen dont l'efficacité est bien reconnue et qui doit être recommandé surtout en temps d'épidémie lorsqu'on ne peut avoir à sa disposition que de l'eau suspecte. Malheureusement ce procédé ne peut être appliqué à un service public, et il faut laisser à l'initiative de chacun le soin de purifier l'eau dont il fait usage. L'emploi de l'eau bouillie constitue donc en réalité un

procédé domestique d'épuration des eaux d'alimentation ; nous croyons cependant utile de rappeler les principaux inconvénients de cette méthode ; cet exposé nous facilitera l'étude des applications industrielles de la chaleur à la stérilisation en grand des eaux destinées à la consommation.

L'eau est privée par l'ébullition d'une grande partie de ses sels, ce qui lui enlève toute saveur et en fait une eau de boisson désagréable. Elle a perdu la presque totalité de ses gaz et devient de ce fait lourde et indigeste. Après ébullition, il faut laisser l'eau se refroidir, ce qui occasionne une perte de temps et nécessite l'emploi de réservoirs difficiles à tenir propres et où l'eau est exposée à se souiller.

Enfin, l'ébullition constitue un procédé très onéreux spécialement lorsqu'il est nécessaire de fournir une quantité d'eau un peu considérable.

Pour remédier à ce dernier inconvénient, on a construit divers appareils qui maintiennent l'eau pendant un certain temps à l'ébullition, après quoi l'eau sortant de l'appareil cède une partie de sa chaleur à celle qui rentre suivant le principe des échanges de températures.

Le plus connu des appareils de coction de l'eau est l'appareil de Siemens dont le débit est de 20 à 30 litres par heure. L'eau fournie ne reste dans ces conditions que 6 à 7 minutes à la température d'ébullition, aussi n'est-elle jamais stérile. L'eau possède à sa sortie tous les caractères de l'eau bouillie ; de plus, elle est encore à une température assez élevée, le refroidisseur n'assurant qu'un échange maximum de 20°. Comme il fallait le prévoir, la

dépense de combustible est assez élevée, le prix de revient est d'environ 2 fr. 50 par 1000 litres.

Les appareils de Strebel, de David Grave, ne diffèrent que par l'échangeur ; le premier de ces instruments consomme 7.500 litres de gaz pour 1000 litres d'eau ; le second aurait un fonctionnement plus économique, mais exigerait encore 4 mètres cubes de gaz pour 1000 litres d'eau bouillie.

Nous ne citons ces procédés qu'à titre de mémoire, et pour marquer les étapes suivies par les inventeurs dans l'application de la chaleur à la stérilisation des eaux. Les appareils de Siemens, de Grave, de Strebel, sont aujourd'hui bien distancés par les appareils créés en France pour la stérilisation sous pression à des températures de 105 à 120, 130°, qui assurent la parfaite destruction de tous les germes vivants.

Quels sont les avantages de la stérilisation absolue de l'eau ? La question est encore à l'étude, et nous admettons volontiers qu'une eau qui a été maintenue pendant un certain temps à une température de 95 à 100° doit être privée de tous les germes infectieux qu'elle contenait, et constitue en réalité une boisson inoffensive ne renfermant que des espèces microbiennes banales absolument indifférentes. Toutefois, il ne faut pas oublier qu'il reste encore des points obscurs dans l'étiologie des maladies infectieuses, et M. Arnould qui regarde cependant la stérilisation absolue de l'eau d'alimentation comme un « effort au-delà du but », reconnaît qu'on peut prévoir « que des bactéries familières à l'eau sale et regardées comme indifférentes, sont capables d'acquérir des propriétés infec-

« tieuses, ou seulement de collaborer avec d'autres pour
« déterminer des troubles physiologiques et des altérations
« analogues à ce que l'on observe dans des maladies in-
« fectieuses non contestées. »

Aussi, il faudrait peut-être conclure avec M. Ermen-
gen : « La conscience de l'hygiéniste ne sera pas satis-
« faite aussi longtemps que les eaux suspectes n'auront
« pas été dûment désinfectées avant d'être livrées à la
« consommation. Or, si l'on veut être en droit d'affirmer
« qu'une eau ne contient aucun microbe pathogène, et
« peut être bue sans danger d'infection, le plus sur et le
« plus simple paraît être de pouvoir répondre en tout
« temps de la parfaite stérilité de cette eau. »

A ce point de vue les appareils stérilisant l'eau à des
températures de 112 à 130° assurent une sécurité abso-
lue.

Dans ces appareils, l'eau est chauffée en vase clos,
sous pression ce qui permet d'atteindre des températures
élevées, d'éviter la formation de vapeurs et par suite, de
réaliser l'économie de combustible que nécessiterait le
changement d'état de l'eau, enfin, d'éviter le dégagement
de l'air qui sous l'influence de la pression reste en disso-
lution dans l'eau.

La stérilisation parfaite est assurée par le degré de
température auquel on porte le liquide, et par le temps
que l'eau séjourne dans la chaudière. Au point de vue
économique, et pour assurer la conservation presque in-
tégrale de la composition chimique de l'eau on a tout
avantage à réduire au minimum la température et à pro-
longer la durée de son action.

A la sortie de l'autoclave, l'eau circule dans des échangeurs où un équilibre tend à se faire entre l'eau stérilisée chaude venant de la chaudière et l'eau à stériliser, froide, qui s'y rend et chemine en sens inverse.

La constitution des échangeurs mérite d'attirer l'attention, car, c'est de la perfection de l'échange de température que dépendent la bonne qualité de l'eau fournie et la réduction de la quantité de combustible nécessaire à la stérilisation. En effet, l'eau chaude en élevant la température de l'eau à stériliser perd elle-même un calorique équivalent, et, si l'échange est assez parfait l'eau sortira absolument fraîche et ayant conservé la majeure partie de ses sels et la presque totalité de l'air qu'elle contenait en dissolution. D'autre part, l'eau rentrant dans la chaudière à une température déjà très élevée n'emprunte plus au foyer qu'une quantité minime de température.

Le problème ainsi posé, nous allons passer à l'étude des principaux appareils qui ont été réalisés dans cet ordre d'idées.

La première solution satisfaisante a été apportée par l'appareil de MM. Rouart, Geneste et Herscher.

Cet appareil est longuement décrit dans la thèse de M. le Dr Lesieur; il se compose essentiellement d'une chaudière formée d'un faisceau de tubes ayant à leur partie supérieure un réservoir d'eau de volume suffisant. Grâce à ce dispositif, l'eau reste théoriquement dix minutes à une température de 125°.

Après stérilisation, l'eau est refroidie dans des échan-

geurs capillaires, dans des échangeurs à serpentins et dans un complément d'échangeurs.

L'eau à sa sortie traverse un clarificateur qui retient toutes les matières en suspension.

Cet appareil a donné d'excellents résultats au point de vue de la composition bactériologique de l'eau qu'il fournit, et le procédé de MM. Rouart, Geneste et Herscher a été l'objet d'un rapport favorable de M. le professeur Pouchet et de l'ingénieur principal de la marine de Brest.

Cependant, quel que soit le mérite incontestable de cet appareil, on peut lui reprocher sa grande complication résultant de la haute température à laquelle il fonctionne et de la série d'échangeurs nécessaires pour le refroidissement de l'eau. C'est un appareil très coûteux et dont la surveillance doit être confiée à des mécaniciens exercés au fonctionnement des machines.

L'eau fournie n'est jamais absolument fraîche, et possède toujours une température supérieure de 7 à 8° à la température de l'eau de la canalisation; il faut ajouter d'ailleurs que pour obtenir ce résultat on doit avoir recours au complément d'échangeur, et sacrifier en pure perte une quantité d'eau égale à la quantité utilisée. C'est ainsi qu'un appareil qui fournit 500 litres d'eau à l'heure en consomme en réalité 1000 litres.

Cette imperfection de l'échange se traduit forcément par une dépense assez élevée de combustible; le prix de revient est au minimum de 0 fr. 60 par mètre cube d'eau stérilisée. De plus, l'eau possède souvent à sa sortie un goût de cuit qui la rend désagréable; elle présente fré-

queument un aspect trouble et doit être clarifiée par un filtre dégrossisseur.

Enfin, ces appareils ont un débit assez faible (500 litres au maximum) et il est à regretter qu'ils ne soient munis d'aucun régulateur qui puisse garantir la parfaite stérilisation de l'eau.

Prévoyant tous les services que pourrait rendre à l'hygiène militaire un appareil stérilisateur plus simple et moins coûteux que le précédent, M. le Dr Vaillard à qui le service de santé de l'armée est déjà redevable d'un modèle d'étuve à désinfection éminemment pratique et d'une grande simplicité de fonctionnement a cherché à réaliser, en collaboration avec M. l'ingénieur Desmaroux, un stérilisateur sûrement efficace, facile à manier en toutes circonstances, même par des mains peu exercées à la conduite des machines d'un grand rendement et d'un fonctionnement très économique.

Les recherches du savant professeur du Val-de-Grâce viennent d'aboutir à la création d'un appareil qui répond pleinement au but proposé, complétant ainsi l'arsenal des moyens prophylactiques qui permettront de lutter efficacement contre la propagation et l'extension des maladies épidémiques.

Ce stérilisateur n'a pas encore été décrit ; nous croyons donc utile d'indiquer les organes essentiels de cet appareil et son mode de fonctionnement ; d'exposer les résultats obtenus et de montrer les services que son application est appelée à rendre à l'hygiène publique.

DESCRIPTION DE L'APPAREIL

L'appareil se compose essentiellement des organes suivants :

1° Le caléfacteur, où toutes les molécules de l'eau à purifier sont maintenues un temps rigoureusement exact, rigoureusement le même, à la température de stérilisation.

2° Deux échangeurs récupérateurs de température, où l'eau s'échauffe et se refroidit lentement et progressivement en vases clos, de manière à fournir (par simple voie d'échange), à la sortie de l'appareil, une eau fraîche et immédiatement utilisable ;

3° Un régulateur de température, destiné à assurer automatiquement la stérilisation certaine de l'eau de circulation ;

4° Deux régulateurs de pression : l'un dit d'entrée, l'autre dit de sortie.

CALÉFACTEUR.

Le caléfacteur se compose de deux organes bien distincts, mais emboîtés l'un dans l'autre et faisant corps ensemble :

1° Un petit générateur à foyer et à cheminée centrale; cette disposition permet une bonne utilisation du combustible. Il est pourvu d'une petite pompe alimentaire, de robinets jauge, de vidange, d'un niveau et d'un manomètre.

Son fonctionnement est très simple et offre une sécurité absolue par suite du peu de tension de la vapeur, et grâce aux clapets à levier déjà employés par M. le professeur Vaillard pour les étuves à désinfection par circulation de vapeur sous pression, en usage dans l'armée.

2° Le serpentin emboîté dans la chaudière se compose d'une série de huit caissons annulaires superposés et interchangeableables; chaque caisson est séparé de son voisin par un espace de 2 à 3 centimètres. Cette disposition donne à l'ensemble une grande surface de contact avec la vapeur produite dans la chaudière, ce qui assure une parfaite utilisation du calorique.

L'eau arrivant par le caisson inférieur communique avec celui qui est placé au-dessus au moyen d'emboîtements métalliques interchangeableables, de telle sorte que le montage, le démontage et le nettoyage de l'appareil n'offrent aucune difficulté. De plus, la construction de ces éléments est telle, que l'eau, arrivant comme nous venons de le dire par le caisson du bas, est obligée de parcourir d'un mouvement absolument uniforme toute la longueur du caisson avant de pouvoir pénétrer, au moyen de l'emboîtement indiqué plus haut, dans le caisson situé au-dessus. La circulation continue de la même façon jus-

qu'au caisson supérieur, où se trouve l'orifice de sortie et le thermomètre indiquant la température maxima.

Le volume total de l'eau circulant d'une façon méthodique dans le serpentín est d'environ 100 litres. Il en résulte clairement que chaque molécule d'eau est maintenue pendant cinq à six minutes à très haute température (température de stérilisation), lorsque l'appareil fonctionne normalement, c'est-à-dire débite 1.000 litres à l'heure.

Ces données fournies par le calcul ont été contrôlées par de nombreuses expériences faites par M. le professeur Vaillard au moyen de liquides colorés. Ces expériences ont clairement démontré qu'aucune molécule ne pouvait échapper à une caléfaction suffisante pour assurer la stérilisation effective. On voit que, par sa disposition, le caléfacteur réalise les conditions de température et de temps qui sont les deux éléments nécessaires à la parfaite destruction des germes.

ÉCHANGEURS RÉCUPÉRATEURS

Les deux échangeurs sont identiques. Ils se composent de lames métalliques concentriquement enroulées, limitant entre elles des espaces de 40 centimètres de haut sur environ 5 millimètres seulement de largeur, rigoureusement étanches. Ces espaces sont répartis en deux canalisations distinctes : l'une pour le liquide froid se dirigeant vers le caléfacteur, l'autre pour l'eau échauffée dans le serpentín et progressant en sens inverse ; leur

disposition est telle que deux courants contraires circulent d'une manière contiguë sur toute l'étendue du parcours. A cet effet, un courant liquide marche de la périphérie au centre, l'autre du centre à la périphérie, de façon que chacun d'eux poursuit sa route dans un espace interposé entre deux espaces où la circulation s'accomplit en sens inverse. C'est dans le circuit à travers le premier, puis dans le deuxième échangeur, que se produit l'échange progressif, parfait de température entre l'eau à chauffer et l'eau déjà chauffée.

La construction de cet organe essentiel mérite l'attention. Elle réalise l'égalité géométrique des surfaces d'échange et leur donne une étendue considérable relativement aux dimensions restreintes de l'appareil.

Cette surface d'échange est en effet de 80 mètres carrés, dont quarante pour le liquide froid et quarante pour le liquide chaud.

Ce dispositif est de première importance dans l'économie générale de l'appareil, car il assure l'échange presque intégral de température entre les deux courants en sens inverse.

De là comme résultat :

1° Le refroidissement remarquable de l'eau stérilisée qui présente à la sortie une température très voisine de la température originelle ;

2° L'échauffement considérable de l'eau à stériliser avant d'avoir subi l'action du caléfacteur où elle pénètre à des températures dépassant 100°, et conséquemment une très faible consommation de combustible.

Les deux échangeurs sont reliés entre eux, et ceux-ci

avec le serpentín par des tubes métalliques conduisant l'un l'eau à stériliser, l'autre l'eau stérilisée. Le tube qui réunit la sortie du serpentín avec l'échangeur contigu peut être muni d'un thermomètre enregistreur contrôlant la bonne exécution de chaque opération.

La chaudière et les deux échangeurs sont établis sur un support fixe ou sur un petit chariot à quatre roues.

Tous les organes du stérilisateur sont établis et construits pour un débit moyen de 1.000 litres à l'heure.

RÉGULATEUR DE TEMPÉRATURE

Ce régulateur est destiné à offrir une garantie absolue du bon fonctionnement de l'appareil et de la parfaite stérilisation de l'eau qu'il débite. En effet, il est réglé de telle sorte que l'arrivée de l'eau ne puisse se produire qu'au moment où le liquide à stériliser est porté à la température de stérilisation, et seulement à ce moment-là. La température vient-elle à baisser, le fonctionnement, c'est-à-dire la circulation de l'eau dans le stérilisateur, se trouve automatiquement arrêtée. L'emploi de ce régulateur offre deux avantages de première importance : 1° il garantit la parfaite stérilisation de l'eau ; 2° il simplifie le fonctionnement de l'appareil. C'est un témoin vigilant qui contrôle chaque expérience : le rôle de l'agent chargé d'assurer le fonctionnement de l'appareil se réduit à faire du feu dans le petit générateur ; il n'a pour ainsi dire pas à s'occuper de la circulation et de la température de l'eau. Mieux que lui et bien plus sûrement, le ré-

gulateur saura intervenir au moment voulu sans qu'on ait jamais à redouter la moindre négligence de sa part.

RÉGULATEURS DE PRESSION

Un de ces régulateurs est placé à l'entrée de l'appareil, il est destiné à maintenir automatiquement une pression constante de 8 à 10 mètres, en réduisant ainsi les pressions ordinairement bien supérieures des canalisations de ville ou des pompes de compression destinées à l'alimentation de l'appareil.

Le second régulateur, placé à la sortie de l'appareil, est destiné à maintenir dans l'ensemble de l'appareil une résistance antagoniste des tensions de vapeur se produisant dans le caléfacteur. Ce régulateur peut à volonté exercer une résistance à la sortie de 1, 2, 3, 4, 5 mètres de charge, suivant la température à laquelle on désire stériliser.

Dans les cas où l'eau à stériliser ne serait pas d'une parfaite limpidité, il est indispensable de placer à l'entrée de l'appareil un filtre dégrossisseur destiné à retenir tous les corps en suspension dans l'eau.

MARCHE DE L'EAU DANS L'APPAREIL

L'eau venant de la canalisation urbaine ou de la pompe construite à cet effet est d'abord introduite dans un filtre et s'y clarifie ; elle subit ensuite l'action du régulateur d'entrée qui réduit, s'il y a lieu, les excès de pression ; de là elle pénètre dans le régulateur de température, destiné, comme nous venons de le voir, à arrêter toute circulation si l'eau à stériliser n'est pas à la température voulue ; elle pénètre ensuite dans le premier échangeur, où elle commence, comme nous l'avons vu, à s'échauffer lentement au contact de l'eau stérilisée, qui chemine et circule dans l'autre canalisation. Du premier échangeur, l'eau passe dans le second (et toujours dans les conditions que nous venons d'indiquer), elle s'échauffe encore graduellement, au point d'atteindre, avant d'avoir été chauffée, une température supérieure à 100°. Du deuxième échangeur, l'eau est introduite dans le caisson inférieur du serpentín, et par suite du long trajet qu'elle est forcée d'accomplir pour parcourir successivement les huit caissons annulaires superposés, elle est soumise à une caléfaction largement suffisante pour lui assurer une stérilisation certaine, indiscutable. Dès ce moment, l'eau est stérilisée, mais pour la rendre potable, il faut la rafraîchir lentement, progressivement.

Suivant que l'on désire obtenir de l'eau absolument

stérile, ou bien simplement de l'eau privée de tout germe dangereux, la température de stérilisation peut varier de 102° à 110 et 115. L'eau stérilisée sort du caléfacteur et parcourt successivement les deux échangeurs. Dans ce parcours, elle cède progressivement sa température à l'eau froide qui entre et chemine en sens inverse. Il est évident qu'elle se refroidit exactement de la quantité de chaleur transmise ; finalement, l'échange est si parfait que l'eau stérilisée présente à la sortie de l'appareil une température très voisine de celle d'entrée : 1, 2, 4°, suivant le type et les conditions de fonctionnement de l'appareil.

Comme nous l'avons déjà vu, l'eau à épurer se chauffe lentement, graduellement, jusqu'à la température de stérilisation, et se refroidit ensuite lentement, progressivement, jusqu'au voisinage de la température originelle.

C'est évidemment à cet entraînement méthodique s'accomplissant en vase clos, et à la faible amplitude du choc thermique (1) dans le caléfacteur, que l'eau doit de conserver sa constitution chimique et sa teneur en oxygène, comme le démontre l'analyse.

Cet échange si parfait de température entraîne naturellement une économie considérable du combustible. En effet, nous avons vu que l'eau, avant d'avoir été chauffée,

1. On entend par choc thermique la quantité de chaleur (1 à 4°, suivant les appareils) que le foyer est appelé à faire pénétrer dans le liquide. Ce phénomène se produit, comme nous l'avons déjà vu, dans le caléfacteur.

c'est-à-dire avant d'avoir consommé un atome de combustible, arrive dans le caléfacteur à une température supérieure à 100°. Il suffit donc de lui fournir très peu de chaleur pour la stériliser complètement. On comprend sans peine que la dépense en combustible est presque insignifiante. Suivant l'importance des installations, la consommation en combustible est d'environ 1 à 2 kilos de charbon par mètre cube d'eau traitée. Elle est souvent nulle lorsqu'on peut disposer d'un peu de vapeur d'échappement.

En effet, presque toutes les villes font usage de pompes à vapeur soit pour puiser de l'eau en contre bas, soit pour lui donner une pression suffisante qui lui permette d'alimenter les quartiers les plus élevés, et d'être utilisée pour le service d'incendie. En prenant la vapeur d'échappement de ces pompes, vapeur perdue, on trouve une quantité de chaleur bien plus que suffisante pour stériliser l'eau relevée par ces mêmes pompes: dans cette hypothèse les appareils fonctionnent comme des condenseurs.

Nous empruntons au rapport présenté au ministère de la Guerre par M. le professeur Vaillard les données suivantes relatives aux qualités physiques, chimiques et biologiques de l'eau fournie par le stérilisateur.

« *Température de l'eau.* — La température de l'eau « débitée est très voisine de la température originelle: « l'écart entre l'entrée et la sortie n'excède pas 1° 10, 5.

« Cette condition est de première importance pour le
« consommateur qui ne se trouvera pas enclin à préférer
« l'eau du robinet à l'eau stérilisée. Si l'eau des bou-
« gies Chamberland est souvent délaissée par le soldat,
« c'est qu'elle s'échauffe pendant la filtration : la même
« antipathie s'appliquerait à une eau purifiée par le chauffe-
« fage dont la température dépasserait de 5 à 6 degrés
« seulement celle de l'eau distribuée par la canalisation.
« Or, on doit reconnaître que jusqu'ici aucun des appa-
« reils stérilisant par la chaleur n'a réussi à fournir une
« boisson suffisamment fraîche pour être bue avec plaisir
« en été.

« L'appareil décrit ne présente pas cet inconvénient,
« il fournit de l'eau fraîche sans recourir à une réfrigéra-
« tion artificielle sans aucune perte de liquide, par le seul
« jeu des échanges.

« *Sapidité.* — L'eau stérilisée, claire, limpide, légère
« est aussi agréable que l'eau originelle dont elle ne se
« distingue en rien au point de vue de la sapidité.

« *Constitution chimique.* — Sa constitution chimique
« est à peine modifiée comme l'indique l'analyse pratiquée
« par M. le pharmacien major Georges professeur agrégé
« du Val-de-Grâce, sur deux échantillons (eau de Seine)
« recueillis au même moment ; l'un avant l'entrée de l'app-
« pareil, l'autre à la sortie.

« *Constitution biologique.* — Toutes les recherches
« ont été effectuées sur l'appareil fonctionnant avec l'eau
« de Seine naturelle ou artificiellement souillée. La souil-
« lure artificielle a été produite en introduisant dans la
« canalisation d'entrée un litre et demi à deux litres d'une

« culture luxuriante de tous les microbes pathogènes
« communément entretenus dans les laboratoires. La
« nomenclaturé en serait longue, il suffira de citer entre
« autres la bacille typhique, le coli bacille, le vibron cho-
« lérique, le bacille diphtérique, le charbon etc., une
« dilution de matières fécales. Les résultats des copieux
« ensemencements effectués ont toujours été concordants,
« c'est-à-dire, négatifs. Jamais les microbes introduits
« dans la canalisation d'entrée n'ont été retrouvés vivants
« à la sortie de l'appareil.

« Une longue étude, basée sur de très nombreuses
« expériences permet d'affirmer que l'eau débitée par le
« stérilisateur doit être considérée comme réellement
« privée de microbes quels qu'ils soient. L'efficacité de
« l'appareil est donc certaine ; elle offre une garantie
« absolue contre tous les dangers possibles.

« *Conclusions.* — Le stérilisateur ci-dessus décrit pré-
« sente sur ses similaires les avantages suivants :

« 1° Grande simplicité de la construction. L'appareil
« ne comporte aucun organe fragile ou délicat ; ses par-
« ties constituant (chaudière, serpent) sont démonta-
« bles, faciles à nettoyer ; toutes les pièces sont inter-
« changeables ;

« 2° Extrême simplicité du maniement. Le stérilisateur
« est établi en vue d'un fonctionnement aussi automatique
« que possible de façon à réduire au minimum sinon à
« supprimer les erreurs de conduite susceptibles d'in-
« fluer sur l'efficacité de l'appareil. Le maniement est si
« élémentaire qu'il n'exige aucune connaissance spéciale
« et peut être confié aux personnes les moins exercées à

« la conduite des machines. Le rôle de l'agent préposé à
« l'épuration de l'eau se bornera à chauffer la chaudière
« et à la maintenir à la température ou au faible degré
« de pression qu'il est d'ailleurs impossible de dépasser,
« ce qui écarte toute possibilité d'accident ;

« 3° Grand débit, 1000 litres à l'heure ;

« 4° Réfrigération presque intégrale de l'eau débitée.
« Sa température excède tout au plus de 1° à 1°,5 la tem-
« pérature initiale ;

« 5° Sécurité absolue et bonne qualité de l'eau débitée ;

« 6° Economie considérable de combustible et par suite
« réduction considérable des frais d'exploitation.

« Une fois l'appareil en marche il suffit de 1 à 2 kilo-
« grammes de charbon pour stériliser 1000 litres d'eau,
« ce qui réduit à un prix très minime la valeur du mètre
« cube. »

Ces appareils ont dans le principe été créés pour l'usage d'agglomérations restreintes, casernes, établissements scolaires, troupes en campagne et pour des installations temporaires lorsque sévit une épidémie occasionnée par la mauvaise qualité de l'eau d'alimentation. Mais on peut se demander si des villes de 10.000, 20.000, 40.000 habitants ne pourraient pas recourir avec avantage à ce procédé pour assurer l'alimentation en eau potable de leurs habitants.

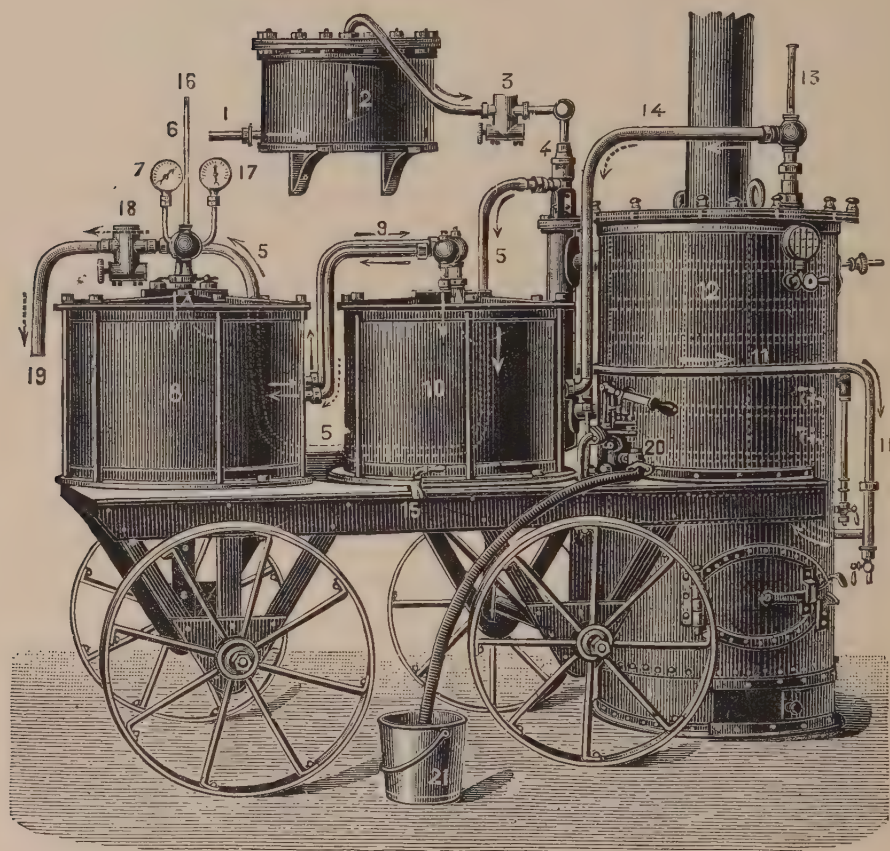
La quantité d'eau qu'il serait possible de fournir chaque jour dépendrait du nombre d'appareils que l'on utiliserait ; chacun d'eux ayant un débit de 1.000 à 2.000 litres

à l'heure, on conçoit qu'on puisse arriver avec un nombre de stérilisateurs encore assez restreint, à assurer un volume d'eau largement suffisant. Si l'augmentation de la population ou les besoins toujours plus nombreux de l'hygiène domestique nécessitaient une plus grande quantité d'eau potable, il serait facile d'ajouter un ou deux appareils suivant les cas au groupe de stérilisateurs déjà en fonction. Nous avons vu du reste que la stérilisation de l'eau se prête en bien des circonstances à des applications vraiment économiques, et que dans la plupart des villes le fonctionnement des appareils ne nécessiterait presque aucune dépense.

Lorsqu'une épidémie vient de se déclarer dans une ville il est nécessaire de prendre des mesures qui permettent dans le plus bref délai de fournir aux habitants une eau absolument privée de tout germe malfaisant. Il serait facile dans ce cas d'installer en quelques jours des stérilisateurs en divers points de la ville. Les habitants seraient tenus à venir s'approvisionner vers ces appareils. On arriverait ainsi à conjurer le danger, et on aurait tout le temps nécessaire pour rétablir, dans de meilleures conditions, le service normal de distribution de l'eau.

STÉRILISATEUR D'EAU VAILLARD & DESMAROUX

Type de 1000 litres à l'heure.



DIMENSIONS DE L'APPAREIL :

En plan, longueur totale, 2 mètres; largeur, 0^m 70.

En hauteur (caléfacteur), 1^m 15.

Pl. 1.

APPAREIL TYPE

1000 LITRES D'EAU STÉRILISÉE A L'HEURE

Schema de la circulation.

Eau à stériliser.

- 1° Amorce de la canalisation d'arrivée d'eau.
- 2° Filtre.
- 3° Régulateur de la pression de l'eau à l'entrée.
- 4° Régulateur de température.
- 5° Canalisation en partie pointillée conduisant l'eau au premier récupérateur.
- 6° Thermomètre indiquant la température de l'eau à l'entrée de l'appareil.
- 7° Manomètre indiquant la pression de l'eau à l'entrée.
- 8° Premier récupérateur.
- 9° Canalisation reliant le premier et deuxième récupérateur.
- 10° Deuxième récupérateur.
- 11° Canalisation conduisant l'eau au caléfacteur.
- 12° Caléfacteur, comprenant : 1° un petit générateur de vapeur avec ses organes de sécurité; 2° un serpentín indiqué en pointillé dans l'intérieur du générateur.
- 13° Thermomètre indiquant la température de stérilisation.

Eau stérilisée.

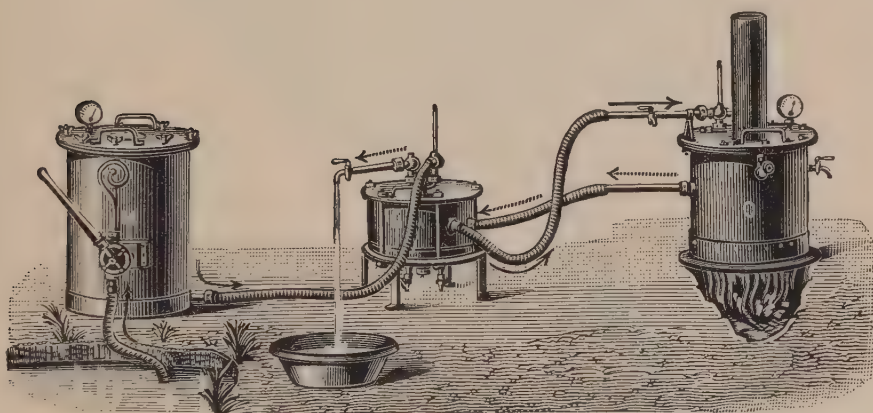
- 14° Canalisation conduisant l'eau qui vient d'être stérilisée dans le caléfacteur au deuxième échangeur, où elle commence à céder sa température à l'eau froide qui suit la canalisation inverse. Cet échange se termine dans le premier échangeur.
- 15° Robinet de prise d'eau chaude stérilisée.
- 16° Thermomètre indiquant la température à la sortie.
- 17° Manomètre indiquant la pression à la sortie.
- 18° Régulateur de pression à la sortie.
- 19° Amorce pour la distribution de l'eau que l'on peut soit distribuer dans un bâtiment avec un certain nombre de prises, soit recueillir dans un récipient *ad hoc*.
- 20° Pompe d'alimentation du générateur à vapeur.
- 21° Seau ou récipient quelconque contenant l'eau d'alimentation du générateur.

STÉRILISATEUR D'EAU VAILLARD & DESMAROUX

200 litres à l'heure.

Type Colonies, monté pour campement.

LES TROIS ÉLÉMENTS SE DÉMONTENT ET SONT TRANSPORTABLES A DOS D'HOMMES OU DE MULETS



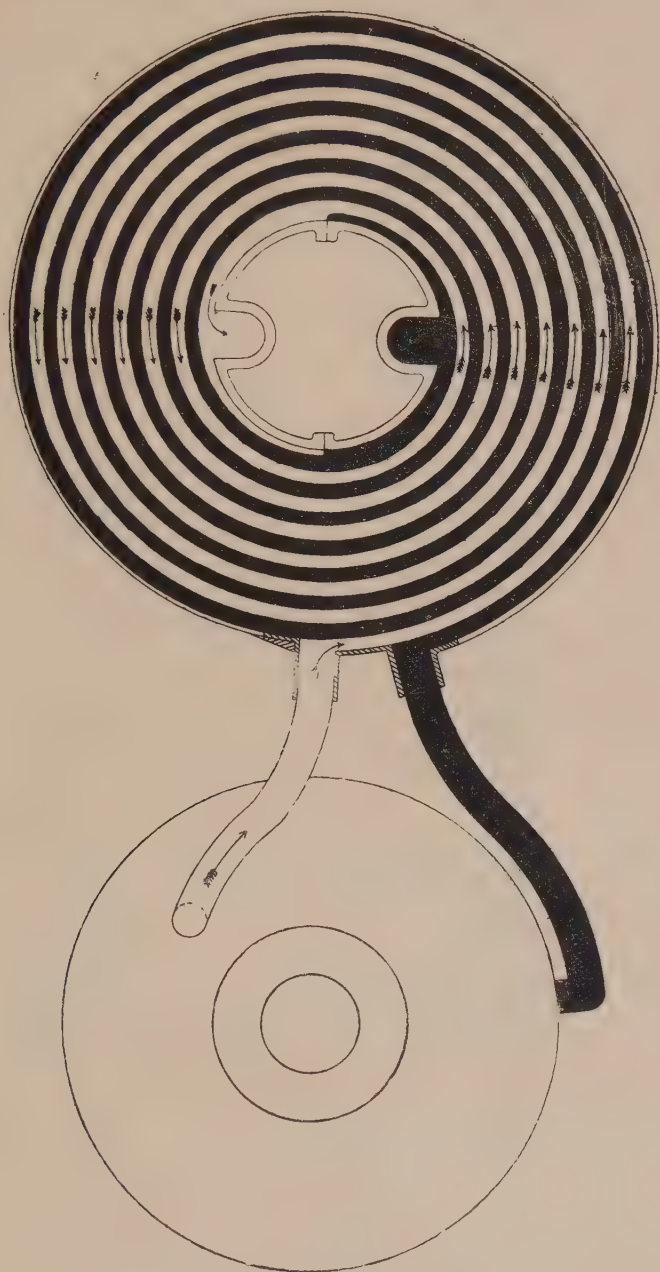
M Pompe aspirante et foulante et récipient-filtre.

N Récupérateur.

O Caléfacteur et serpentin.

Pl. 2.

STÉRILISATEUR D'EAU VAILLARD & DESMAROUX

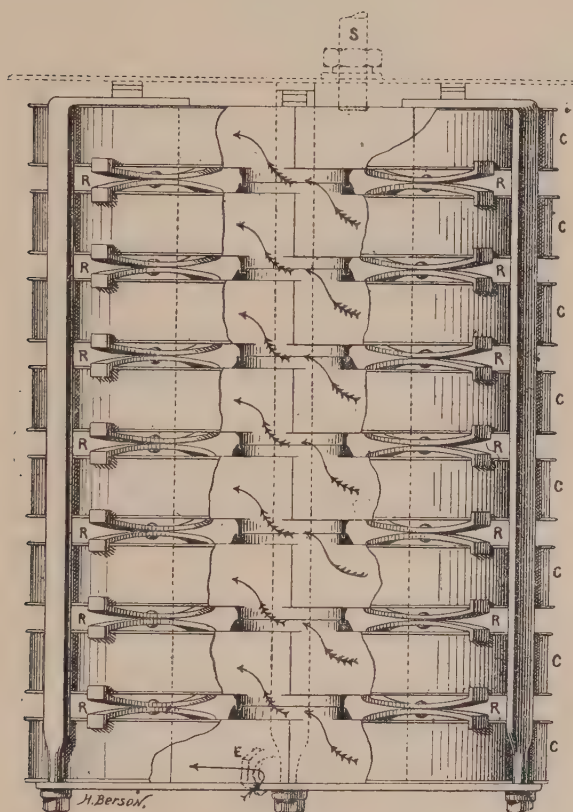


Schema de la circulation de l'eau.

La spire noire est affectée à l'eau froide à stériliser.
La spire blanche est affectée à l'eau chaude stérilisée.

Pl. 3.

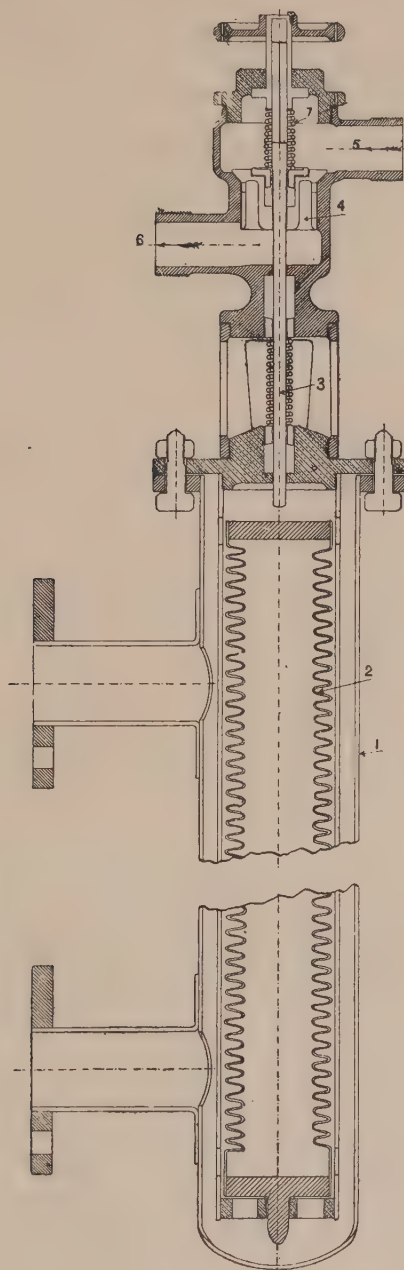
STÉRILISATEUR D'EAU VAILLARD & DESMAROUX



Serpentin composé de 8 caissons interchangeables assurant une circulation en fonction du débit.

Pl. 4.

STÉRILISATEUR D'EAU VAILLARD & DESMAROUX



Régulateur de température arrêtant automatiquement la circulation de l'eau, quand pour une raison quelconque la température vient à baisser dans l'appareil.

Pl. 5.

CONCLUSIONS

1° La filtration industrielle n'offre pas un obstacle suffisant au passage des germes ; le nombre des microbes contenus dans l'eau est diminué, mais tout danger de contamination n'est pas conjuré, des germes pathogènes pouvant se trouver dans le nombre des microorganismes qui passent à travers les appareils.

Les bassins à sable en particulier sont des instruments fragiles, d'un maniement délicat et d'une surveillance difficile.

2° La purification des eaux d'alimentation par les procédés chimiques n'est susceptible d'aucune application ; il serait imprudent de vouloir recourir aux méthodes qui ont été préconisées surtout lorsqu'il s'agit de l'alimentation des collectivités.

3° L'application de l'ozone paraît pouvoir donner des résultats satisfaisants. Toutefois, les recherches qui ont été faites dans cet ordre d'idées sont encore trop rares et trop incomplètes pour qu'il soit permis de se prononcer.

4° La stérilisation des eaux potables par la chaleur repose sur des résultats acquis et reconnus de tous ; son

efficacité est à l'abri de toute contestation. Ce procédé reste comme le moyen prophylactique par excellence dont l'usage s'impose en temps d'épidémie.

5° Les recherches récentes qui ont été faites pour l'application industrielle de la chaleur à l'épuration des eaux d'alimentation, ont abouti à la création d'appareils stériliseurs d'un rendement économique dont le fonctionnement est très simple et à l'abri de toute cause d'erreur.

Ce procédé se prête à des applications locales et peut faire face aux besoins normaux d'une alimentation publique d'une certaine importance.

Vu par le président de la thèse,

A. PROUST.

Vu par le Doyen,

BROUARDEL.

Vu et permis d'imprimer,

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

GRÉARD.

BIBLIOGRAPHIE

- DUCLAUX. — Revues critiques. Annales de l'institut Pasteur, t. I, IV, V et VII.
- GAUTRELET. — De l'approvisionnement en eau potable des villes situées près des fleuves. Journal de médecine de Paris, 1890.
- ARLOING. — Sur le projet d'amélioration et d'extension des eaux de la ville de Lyon. Revue d'hygiène et de police sanitaire, 1891.
- ARNOULD. — Distributions municipales d'eaux de fleuve, 1891.
- PFUHL. — Le transport des bactéries par la nappe souterraine. Zeitsch. f. hygiène, analysé rev. hyg., 1897.
- DUCLAUX. — Traité de microbiologie (I), 1898.
- PFIEFKE. — Aphorismes sur l'alimentation en eau, Zeitschrift für Hygiène, 1889.
- CORNIL. — Modes de filtration de l'eau des fleuves (Journ. des conn. méd., 1890).
- MICHEL. — De l'utilisation des eaux fluviales au point de vue alimentaire. (Journ. de médecine de Paris, 1890).
- KOCH. — De la filtration des eaux et choléra. (Semaine médicale, 93).
- VAILLANT. — La potabilisation des eaux fluviales. Revue d'hygiène et de pol. sanit., 1895.
- JOUON. — L'eau filtrée à Nantes, rev. d'hyg. et de pol. sanit., 1891.

GUINOCHE. — Les eaux d'alimentation, épuration, filtration, stérilisation, 1894.

SCHAEFFER. — Sur le filtre à plaque de sable système Fischer à Worms (analysé revue d'hyg., 1896).

TRÉLAT. — L'eau de rivière comme boisson. Rev. d'hyg. et de pol. sanit., 1890.

MAX TEICH. — Le procédé de Babès pour obtenir de l'eau pure de germe, arch. für. Analysé revue d'hygiène, 1894.

BURLUREAUX. — Epuration de l'eau de boisson. Archives de médecine, expériment. et d'anat. pathologique, 1892.

LODE. — Stérilisat. de l'eau par le chlorure de chaux. Hyg. Rundsch., 95 (Analysé Rev. Hyg., 1896).

MARTIN. — Rapport sur le concours ouvert par la ville de Paris pour l'épuration ou la stérilisation des eaux de rivière destinées à la boisson. Rev. d'hyg. et de pol. sanit. 1896.

SCHUMBURG. — Un nouveau procédé de stérilisation (par le brome) de l'eau destinée à la boisson. Deutsche med. Woch. 1897. Analysé in Sem. médic. 1897.

VALLIN. — Les eaux d'alimentation dans la banlieue de Paris. Revue d'hygiène et pol. sanit. 1897.

MIGUEL. — Annuaire de l'observatoire de Montsouris pour 1898. Bulletin municipal officiel 1897.

VAN ERMINGEN. — La stérilisation des eaux par l'ozone. Annales de l'Institut Pasteur, 1895.

POUCHET. — Etude critique des procédés d'épuration et de stérilisation des eaux de boisson. Annales d'hygiène, 1891.

LESIEUR. — La stérilisation des eaux par la chaleur au point de vue de l'alimentation publique (Thèse de Paris), 1892.

ARNOULD. — La stérilisation des eaux. Revue d'hygiène et de police sanitaire, 1893.

